



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A
SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ($f_c = 21$ MPa), FABRICADO CON
MATERIALES DE LA MINA SAN RAMÓN, UBICADA EN LA
PARROQUIA DE MULALÓ EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI Y
CEMENTO CHIMBORAZO.**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL**

AUTOR

JOHANA MARIELA CARVAJAL TACO.

TUTOR

ING. MARCO GARZÓN.

QUITO, MAYO 2013

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mi madre, hermanos y a mi familia quienes son lo más importante para mí.

A la persona que siempre estuvo a mi lado durante toda mi carrera quien con sus consejos y palabras de aliento hizo que no desmaye en el intento.

Esto es de ustedes familia, ya que yo seguiré en la lucha por lo que realmente deseo y anhelo para mi vida.

Johana Carvajal T.

AGRADECIMIENTO

Primero a Dios, quien me dio fuerza y resistencia para seguir en esta lucha, a mi madre quien con su amor y sacrificio sigue luchando por vernos profesionales y ver el fruto de su trabajo, a mis hermanos y sobrinita; en especial a mi hermana Jenny quien siempre con su persistencia y apoyo soy lo que soy ahora.

A mis compañeros de tesis: Andrés, Byron y a todos nuestros amigos quienes me colaboraron con esta investigación.

Gracias UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR y gracias maestros ya que a lo largo de mi carrera supieron impartirnos sus conocimientos y experiencias con la mejor actitud de un catedrático.


Johana Carvajal T.

AUTORIZACIÓN DE LA AUTORÍA INTELECTUAL

Yo, **CARVAJAL TACO JOHANA MARIELA**, en calidad de autor del trabajo de investigación o tesis realizada sobre: **MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ($f_c = 21$ MPa), FABRICADO CON MATERIALES DE LA MINA SAN RAMÓN, UBICADA EN LA PARROQUIA DE MULALÓ EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI Y CEMENTO CHIMBORAZO.**, por la presente autorizo a la **UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR**, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o de parte de los que contiene esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor me corresponden, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8, 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Quito, Mayo 2013



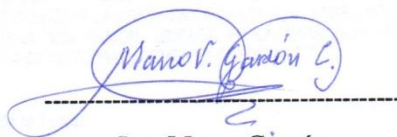
Johana Mariela Carvajal Taco.

C.C: 020198174-3

CERTIFICACIÓN

En calidad de revisores del proyecto de investigación: **MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ($f_c = 21$ MPa), FABRICADO CON MATERIALES DE LA MINA SAN RAMÓN, UBICADA EN LA PARROQUIA DE MULALÓ EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI Y CEMENTO CHIMBORAZO**, presentado y desarrollado por la señorita: Carvajal Taco Johana Mariela, para aprobar el Tema de Trabajo de Graduación, previo a la obtención del Título de Ingeniera Civil, consideramos, que el Proyecto reúne los requisitos necesarios.

Quito, Mayo del 2013



Ing. Marco Garzón

Director

INFORME SOBRE CULMINACIÓN DE TESIS

TESIS: "MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN $f'_c = 21$ MPa. FABRICADO CON MATERIALES DE LA MINA SAN RAMON, UBICADA EN LA PARROQUIA DE MULALÓ EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI y CEMENTO CHIMBORAZO."

TUTOR: Ing. MARCO VINICIO GARZÓN CALDERÓN

FECHA: 23 de mayo de 2013

1.- Antecedentes:

- Con Oficio No. FI-DCIC-2012-662, del 31 de octubre de 2012, el señor Director de la Carrera, en base a los informes favorables de los Ings. Wáshington Benavidez y Marco Ayabaca, comunica sobre la **aprobación** de la correspondiente denuncia de tesis realizada por la señorita:

CARVAJAL TACO JOHANA MERIELA

Que versa sobre: "MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN $f'_c = 21$ MPa., FABRICADO CON MATERIALES DE LA MINA SAN RAMON, UBICADA EN LA PARROQUIA DE MULALÓ EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI y CEMENTO CHIMBORAZO".

2.- Desarrollo de la Tesis:

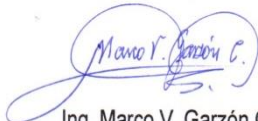
- La señorita JOHANA CARVAJAL procede a la recolección de los materiales necesarios para el desarrollo de la tesis: agregados (arena y ripio) provenientes de la mina de SAN RAMÓN y cemento CHIMBORAZO. Los agregados y el cemento se trasladan y se los almacenan en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Carrera de Ingeniería Civil.
- Se procede a determinar las características físicas y mecánicas de los materiales (agregados y cemento) de conformidad con las normas INEN y ASTM.
- Se realizan diseños de prueba de los hormigones utilizando el Método A.C.I.-211.1
- Los hormigones obtenidos con los diseños y dosificaciones definitivos producen los resultados esperados en lo que tiene relación a su resistencia a los 28 días (21 MPa.).
- De conformidad con la norma ASTM 469, se procede a la determinación del Módulo de Elasticidad del Hormigón.

- El desarrollo de la tesis y de todos los ensayos estuvo siempre bajo la supervisión y control de los Ingenieros Washington Benavides, Marco Ayabaca y Marco Garzón.

3.- Conclusiones:

- La dosificación realizada utilizando el método del ACI proporcionó los mejores resultados para la resistencia a la compresión a los 28 días.
- El módulo estático de elasticidad de estos hormigones es menor en un 16.06 %, con respecto a los valores propuestos por el A.C.I. – 318.
- La señorita JOHANA CARVAJAL propone que, para los hormigones elaborados con cemento CHIMBORAZO y agregados de la mina SAN RAMÓN, UBICADA EN LA PARROQUIA DE MULALÓ EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI y CEMENTO CHIMBORAZO, el valor del módulo estático de elasticidad se determine reduciendo el 16.06 % de los valores obtenidos por el A.C.I. – 318.

Atentamente,



Ing. Marco V. Garzón Calderón
Profesor Principal, Tutor



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERIA, CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICA
SECRETARIA

RESULTADO DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

CARRERA DE Ingeniería Civil

Quito, 23 - MAYO - 2013

Señor CARVAJAL TACO JOHANA MARIELA

Tema: MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ($f_c = 21 \text{ MPa}$) FABRICADO CON MATERIALES DE LA
MINA SAN RAMÓN UBICADA EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI Y CEMENTO CHIMBORAZO.

CALIFICACIÓN:

TRIBUNAL	PROFESOR (A)	NOTA SOBRE VEINTE		FIRMA
		NUMERO	LETRAS	
PROFESOR TITULAR	ING. WASHINGTON BENAVIDES ORBE	18	DIECIOCHO	
PROFESOR TITULAR	ING. MARCO ANTONIO AYAGACA CAZAR	18	DIECIOCHO	
PROMEDIO		18	DIECIOCHO	

Dra. Katheryne Carrión Valdivieso
SECRETARIA ABOGADA (E)

CONTENIDO

PP

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I.- ANTECEDENTES

1.1	Historia y Evolución del Hormigón.	1
1.2	Importancia de la Investigación.	6
1.3	Estado actual del Tema propuesto relacionando con las Investigaciones en Nuestro País.....	7
1.4	Objetivos de la Investigación.	10
1.4.1	Objetivos Generales.	10
1.4.2	Objetivos Específicos.....	10

CAPITULO II.-EL HORMIGON

2.1	Definición.....	11
2.2	Propiedades Físicas y Mecánicas.	11
2.2.1	Propiedades del Hormigón Fresco.	14
2.2.2	Propiedades del Hormigón Endurecido.	19
2.3	Características de Deformación.....	26
2.4	Deformaciones Elásticas.	27
2.5	Deformaciones Laterales.	28
2.6	Deformaciones Plásticas.....	29
2.7	Deformaciones por Contracción.....	30

CAPÍTULO III.-PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.

3.1	Estudio de las Propiedades Físicas y Mecánicas de los Agregados procedentes de la Ciudad de Latacunga, cantera “SAN RAMÓN” y Cemento Chimborazo.	32
3.2	Ubicación, Características de la Zona y Explotación de la Mina.....	37

3.3	Ensayo de los Agregados.	41
3.3.1	Ensayos de Abrasión.	41
3.3.2	Ensayo de Colorimetría.	44
3.3.3	Densidad Real (peso específico).- Densidad en Estado Saturado con Superficie Seca (S.S.S.)	46
3.3.4	Capacidad de Absorción.	52
3.3.5	Contenido de Humedad.	55
3.3.6	Densidad Aparente Suelta y Compactada.	64
3.3.7	Granulometría.	85
3.4	Propiedades Físicas y Mecánicas del Cemento.	97
3.4.1	Superficie Específica (Finura) por Tamizado.	97
3.4.2	Densidad del Cemento.	101
3.4.3	Consistencia Normal.	105
3.4.4	Relación de Agua/Cemento (W/C).	107
3.5	Resumen De Propiedades.	109

CAPÍTULO IV.- MEZCLAS DE HORMIGÓN.

4.1	Fijación de Parámetros de Diseño de Mezclas para Resistencia Especificada de 28 MPa.	111
4.2	Método de Diseño: A.C.I. 211.1	114
4.3	Mezcla de Prueba para la Resistencia Especificada Investigada.....	123
4.4	Análisis de las Propiedades del Hormigón Fresco: Cuadro de Resultados.	126
4.5	Resultados del Ensayo de Compresión de las Mezclas de Prueba a los 7 días.....	132

CAPÍTULO V.- PROBETAS ESTÁNDAR.

5.1	Mezclas Definitivas para la Resistencia Especificada Investigada.	135
5.2	Determinación del Número Total de Probetas en la Investigación.	135
5.3	Programación de Producción de Probetas Cilíndricas de Hormigón.	136

5.4	Elaboración de Hormigón y Toma de Muestras.....	139
5.5	Almacenamiento de Probetas en la Cámara de Humedad.....	140
CAPÍTULO VI.- PROGRAMAS DE ENSAYO.		
6.1	Tolerancia de Tiempo para los Ensayos.....	141
6.2	Análisis de las Propiedades del Hormigón Fraguado: Cuadro De Resultados.....	141
6.3	Análisis de la Resistencia a la Compresión a edades de 7, 14, 21 Y 28 días.....	147
6.4	Verificación y Preparación de Equipos para medir las Deformaciones del Hormigón a través de Ensayos De Compresión.	153
6.5	Análisis de Resistencia ala Compresión vs Deformación Específica a la edad de 28 días.	155
6.6	Resultados y Tabulaciones.	185
CAPÍTULO VII.- MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN.		
7.1	Métodos para la determinación de la Resistencia Característica de Hormigones.	186
7.1.1	Según Montoya – Meseguer – Morán.....	187
7.1.2	Según Oscar Padilla.	190
7.1.3	Según Saliger.	193
7.1.4	Según Norma Ecuatoriana.....	195
7.2	Determinación Experimental, Teórico y Estadístico del Módulo Estático de Elasticidad de los Resultados obtenidos.....	199
7.3	Comparación entre los Módulos Estáticos de Elasticidad del Hormigón, Teórico vs Experimental:.....	206
CAPÍTULO VIII.- RESULTADOS FINALES		
8.1	Resumen Final de los Resultados.....	207
8.2	Planteamiento de la Ecuación Experimental del Módulo Estático de Elasticidad del Hormigón.....	209

8.3	Conclusiones.	211
8.3.1	Conclusiones Generales.....	211
8.3.2	Conclusiones Específicas.....	213
8.4	Recomendaciones.	215
8.4.1	Recomendaciones Generales.....	216
8.4.2	Recomendaciones sobre el Módulo Estático de Elasticidad del Hormigón.	216
ANEXOS		217
BIBLIOGRAFIA		229

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1.1 Resumen de Módulos de Elasticidad Obtenidos en el Laboratorio de Ensayo de Materiales (U.C.E.).....	9
Tabla N° 2.1 Consistencia / Asentamiento.....	15
Tabla N° 2.2 Tolerancias.....	15
Tabla N° 2.3 Promedio de las Densidades Observadas para el Hormigón Fresco (Unidades SI)*	18
Tabla N° 2.4 Factores que afectan al Hormigón.	22
Tabla N° 2.5 Resistencias de Hormigones con su Módulo de Elasticidad.....	26
Tabla N° 3.1 Requisitos que exigen las Normas INEN – NTE N° 490 para Cementos.....	36
Tabla N° 3.2 Pesos Retenidos.	42
Tabla N° 3.3 Resultado del Ensayo de Abrasión.	42
Tabla N° 3.4 Pesos Retenidos.	43
Tabla N° 3.5 Resultado del Ensayo de Abrasión.	43
Tabla N° 3.6 Propiedades de los Agregados Según su Color.....	44
Tabla N° 3.7 Resultado del Ensayo de Colorimetría.....	45
Tabla N° 3.8 Resultado del Ensayo de Peso Específico.....	47
Tabla N° 3.9 Resultado del Ensayo de Peso Específico.....	47
Tabla N° 3.10 Resultado del Ensayo de Peso Específico.....	48
Tabla N° 3.11 Resultado del Ensayo de Peso Específico.....	48
Tabla N° 3.12 Resultado del Ensayo de Peso Específico.....	49
Tabla N° 3.13 Resultado del Ensayo de Peso Específico.....	49
Tabla N° 3.14 Resultado del Ensayo de Peso Específico.....	50
Tabla N° 3.15 Resultado del Ensayo de Peso Específico.....	50
Tabla N° 3.16 Resultado del Ensayo de Peso Específico.....	51

Tabla N° 3.17	Resultado del Ensayo de Peso Específico.....	51
Tabla N° 3.18	Resultado del Ensayo de Capacidad de Absorción.....	53
Tabla N° 3.19	Resultado del Ensayo de Capacidad de Absorción.....	53
Tabla N° 3.20	Resultado del Ensayo de Capacidad de Absorción.....	54
Tabla N° 3.21	Resultado del Ensayo de Capacidad de Absorción.....	54
Tabla N° 3.22	Resultado del Ensayo de Capacidad de Absorción.....	55
Tabla N° 3.23	Resultado del Ensayo de Capacidad de Absorción.....	55
Tabla N° 3.24	Resultado del Ensayo de Capacidad de Absorción.....	56
Tabla N° 3.25	Resultado del Ensayo de Capacidad de Absorción.....	56
Tabla N° 3.26	Resultado del Ensayo de Capacidad de Absorción.....	55
Tabla N° 3.27	Resultado del Ensayo de Capacidad de Absorción.....	57
Tabla N° 3.28	Resultado del Ensayo de Contenido de Humedad.	59
Tabla N° 3.29	Resultado del Ensayo de Contenido de Humedad.	59
Tabla N° 3.30	Resultado del Ensayo de Contenido de Humedad.	60
Tabla N° 3.31	Resultado del Ensayo de Contenido de Humedad.	60
Tabla N° 3.32	Resultado del Ensayo de Contenido de Humedad.	61
Tabla N° 3.33	Resultado del Ensayo de Contenido de Humedad.	61
Tabla N° 3.34	Resultado del Ensayo de Contenido de Humedad.	62
Tabla N° 3.35	Resultado del Ensayo de Contenido de Humedad.	62
Tabla N° 3.36	Resultado del Ensayo de Contenido de Humedad.	63
Tabla N° 3.37	Resultado del Ensayo de Contenido de Humedad.	63
Tabla N° 3.38	Resultado del Ensayo de la Densidad Aparente Suelta.	65
Tabla N° 3.39	Resultado del Ensayo de la Densidad Aparente Compactada.	65
Tabla N° 3.40	Resultado del Ensayo de la Densidad Aparente Suelta.	66
Tabla N° 3.41	Resultado del Ensayo de la Densidad Aparente Compactada.	66
Tabla N° 3.42	Resultado del Ensayo de la Densidad Aparente Suelta.	67
Tabla N° 3.43	Resultado del Ensayo de la Densidad Aparente Compactada.	67

Tabla N° 3.44 Resultado del Ensayo de la Densidad Aparente Suelta.	68
Tabla N° 3.45 Resultado del Ensayo de la Densidad Aparente Compactada.	68
Tabla N° 3.46 Resultado del Ensayo de la Densidad Aparente Suelta.	69
Tabla N° 3.47 Resultado del Ensayo de la Densidad Aparente Compactada.	69
Tabla N° 3.48 Resultado del Ensayo de la Densidad Aparente Suelta.	70
Tabla N° 3.49 Resultado del Ensayo de la Densidad Aparente Compactada.	70
Tabla N° 3.50 Resultado del Ensayo de la Densidad Aparente Suelta.	71
Tabla N° 3.51 Resultado del Ensayo de la Densidad Aparente Compactada.	71
Tabla N° 3.52 Resultado del Ensayo de la Densidad Aparente Suelta.	72
Tabla N° 3.53 Resultado del Ensayo de la Densidad Aparente Compactada.	72
Tabla N° 3.54 Resultado del Ensayo de la Densidad Aparente Suelta.	73
Tabla N° 3.55 Resultado del Ensayo de la Densidad Aparente Compactada.	73
Tabla N° 3.56 Resultado del Ensayo de la Densidad Aparente Suelta.	74
Tabla N° 3.57 Resultado del Ensayo de la Densidad Aparente Compactada.	74
Tabla N° 3.58 Resultado del Ensayo de la Densidad Compactada Óptima.	75
Tabla N° 3.59 Resultado del Ensayo de la Densidad Compactada Óptima.	77
Tabla N° 3.60 Resultado del Ensayo de la Densidad Compactada Óptima.	79
Tabla N° 3.61 Resultado del Ensayo de la Densidad Compactada Óptima.	81
Tabla N° 3.62 Resultado del Ensayo de la Densidad Compactada Óptima.	83
Tabla N° 3.63 Resultado del Ensayo de Granulometría.	87
Tabla N° 3.64 Resultado del Ensayo de Granulometría.	88
Tabla N° 3.65 Resultado del Ensayo de Granulometría.	89
Tabla N° 3.66 Resultado del Ensayo de Granulometría.	90
Tabla N° 3.67 Resultado del Ensayo de Granulometría.	91
Tabla N° 3.68 Resultado del Ensayo de Granulometría.	92
Tabla N° 3.69 Resultado del Ensayo de Granulometría.	93
Tabla N° 3.70 Resultado del Ensayo de Granulometría.	94

Tabla N° 3.71 Resultado del Ensayo de Granulometría.....	95
Tabla N° 3.72 Resultado del Ensayo de Granulometría.....	96
Tabla N° 3.73 Resultado del Ensayo de Finura del Cemento.	98
Tabla N° 3.74 Resultado del Ensayo de Finura del Cemento.	98
Tabla N° 3.75 Resultado del Ensayo de Finura del Cemento.	99
Tabla N° 3.76 Resultado del Ensayo de Finura del Cemento.	99
Tabla N° 3.77 Resultado del Ensayo de Finura del Cemento.	100
Tabla N° 3.78 Método: Picnómetro.....	102
Tabla N° 3.79 Método: Lechatellier.....	102
Tabla N° 3.80 Método: Picnómetro.....	103
Tabla N° 3.81 Método: Lechatellier.....	103
Tabla N° 3.82 Método: Picnómetro.....	104
Tabla N° 3.83 Método: Lechatellier.....	104
Tabla N° 3.84 Resultado del Ensayo de Consistencia Normal del Cemento.	106
Tabla N° 3.85 Resultado del Ensayo de Consistencia Normal del Cemento.	106
Tabla N° 3.86 Resultado del Ensayo de Consistencia Normal del Cemento.	106
Tabla N° 3.87 Relación de Agua/Cemento.	108
Tabla N° 4.1 Condiciones Esperadas de un Hormigón.	116
Tabla N° 4.2 Asentamientos Recomendados para Diferentes Tipos de Construcción.	116
Tabla N° 4.3 Tamaños Máximos del Agregado, Recomendados para Diferentes Tipos de Construcción.....	117
Tabla N° 4.4 Cantidades Aproximadas de Agua de Mezclado que se Requieren para Diferentes Asentamientos y Tamaños Máximos de Agregado Grueso.	118
Tabla N° 4.5 Resistencia a la Compresión de Hormigón basada en la Relación Agua/Cemento Material Cementante (*).	119
Tabla N° 4.6 Volumen Aparente Seco y Compactado de Agregado Grueso por Unidad de Volumen de Hormigón (*).	119

Tabla N° 4.7 Cantidades para 10 Cilindros.	123
Tabla N° 4.8 Contenido de Humedad.....	124
Tabla N° 4.9 Cantidades Corregidas por Humedad.	125
Tabla N° 4.10 Cantidades Corregidas por Asentamiento.....	125
Tabla N° 4.11 Valores de Asentamientos.....	127
Tabla N° 4.12 Calificación de la Mezcla en Función del Asentamiento.....	128
Tabla N° 4.13 Resumen de las Propiedades del Hormigón Fresco.....	130
Tabla N° 4.14 Resultado de la Densidad del Hormigón Fresco.....	131
Tabla N° 4.15 Resultados de Ensayos de Cilindros de Prueba a los 7 días.	132
Tabla N° 4.16 Resistencia Estimada a los 28 días.	133
Tabla N° 4.17 Resumen de Resistencia Estimada a los 28 días para $f'_c = 21$ MPa.	133
Tabla N° 5.1 Dosificación al Peso para las Mezclas Definitivas	135
Tabla N° 5.2 Cantidad de Material para Mezclas Definitivas.....	137
Tabla N° 5.3 Cantidad de Material para Mezclas Definitivas (3paradas).....	137
Tabla N° 5.4 Resultados del Contenido de Humedad para las Mezclas Definitivas.	138
Tabla N° 5.5 Corrección del Contenido de Humedad.....	138
Tabla N° 5.6 Cantidades Corregidas por Asentamiento.....	138
Tabla N° 5.7 Propiedades del Hormigón Fresco de las Mezclas Definitivas.....	139
Tabla N° 6.1 Resultado de la Densidad del Hormigón Fraguado a los 7 días.	143
Tabla N° 6.2 Resultado de la Densidad del Hormigón Fraguado a los 14 días.	144
Tabla N° 6.3 Resultado de la Densidad del Hormigón Fraguado a los 21 días. ...	145
Tabla N° 6.4 Resultado de la Densidad del Hormigón Fraguado a los 28 días.	146
Tabla N° 6.5 Resultados de Ensayos a Compresión a los 7 días.....	148
Tabla N° 6.6 Resultados de Ensayos a Compresión a los 14 días.....	149
Tabla N° 6.7 Resultados de Ensayos a Compresión a los 21 días.....	150
Tabla N° 6.8 Resultados de Ensayos a Compresión a los 28 días.....	151

Tabla N° 6.9 Resumen de Ensayos a Compresión.	152
Tabla N° 6.10 Resultados de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días	155
Tabla N° 6.11 Resultados de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.	157
Tabla N° 6.12 Resultados de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.	159
Tabla N° 6.13 Resultados de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.	161
Tabla N° 6.14 Resultados de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.	163
Tabla N° 6.15 Resultados de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.	165
Tabla N° 6.16 Resultados de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.	167
Tabla N° 6.17 Resultados de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.	169
Tabla N° 6.18 Resultados de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.	171
Tabla N° 6.19 Resultados de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.	173
Tabla N° 6.20 Resultados de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.	175
Tabla N° 6.21 Resultados de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.	177
Tabla N° 6.22 Resultados de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.	179
Tabla N° 6.23 Resultados de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.	181
Tabla N° 6.24 Resultados de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.	183
Tabla N° 6.25 Resultados de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.	185
Tabla N° 7.1 Resistencia Característica según Montoya – Meseguer – Mora	189
Tabla N° 7.2 Resistencia Característica Según Oscar Padilla.	191
Tabla N° 7.2.1 Resistencia promedio del Primer Subgrupo.	192
Tabla N° 7.2.2 Resistencia promedio del Segundo Subgrupo.	192
Tabla N° 7.3 Resistencia Característica Según Salinger.	194
Tabla N° 7.4 Factor de Mayoración (k).	195
Tabla N° 7.5 Resistencia Característica Según Norma Ecuatoriana.	197
Tabla N° 7.6 Resumen de las Resistencia Característica.	198
Tabla N° 7.7 Módulo de Elasticidad del Hormigón (Método Experimental)	201
Tabla N° 7.8 Módulo de Elasticidad del Hormigón (Método Estadístico)	203

Tabla N° 7.9 Módulo de Elasticidad del Hormigón (Método Teórico)	205
Tabla N° 7.10 Comparación entre los Módulos Estáticos de Elasticidad del Hormigón, Teórico y Experimental.	206
Tabla N° 8.1 Resumen del Módulo Estático de Elasticidad del Hormigón.	207
Tabla N° 8.2 Resumen del Módulo Estático de Elasticidad del Hormigón.	208

LISTA DE FIGURAS

FIGURA N° 2.1 Módulo de Rotura.	21
FIGURA N° 2.2 Módulo de Rotura.	21
FIGURA N° 2.3 Porosidad del Hormigón.	23
FIGURA N° 2.4 Diagrama Esfuerzo vs Deformación.	24
FIGURA N° 2.5 Diagrama Esfuerzo vs Deformación.	25
FIGURA N° 2.6 Determinación del Módulo de Elasticidad.	25
FIGURA N° 2.7. Curva típica esfuerzo-deformación.	28
FIGURA N° 3.1 Visita a la mina “San Ramon”, Grupo de tesis.	32
FIGURA N° 3.2 Materiales Empleados en la Investigación.	33
FIGURA N° 3.3 Cemento Chimborazo.	35
FIGURA N° 3.4 Mapa Físico – Político de la Provincia de Cotopaxi.	37
FIGURA N° 3.5 Ubicación de la Mina “San Ramón”, Google Earth.	39
FIGURA N° 3.6 Propiedades de los Agregados Según su Color.	44
FIGURA N° 3.7 Resultado de la Colorimetría.	45
FIGURA N° 3.8 Relación Agua/Cemento, en Peso.	108
FIGURA N° 4.1 Medición del Asentamiento.	127
FIGURA N° 4.2 Cilindros Hormigón Fresco.	129
FIGURA N° 5.1 Molde Cilíndrico para Probetas de Hormigón de 15 x 30 cm.	134
FIGURA N° 6.1 Curva de Resistencia vs Tiempo.	152
FIGURA N° 6.2 Cilindro de Pruebas en los Acoples de los Anillos y Deformímetro colocado en la Máquina Universal de 100 Ton.	153
FIGURA N° 6.3 Curva de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.	156
FIGURA N° 6.4 Curva de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.	158
FIGURA N° 6.5 Curva de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.	160
FIGURA N° 6.6 Curva de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.	162

FIGURA N° 6.7 Curva de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.	164
FIGURA N° 6.8 Curva de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.	166
FIGURA N° 6.9 Curva de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.	168
FIGURA N° 6.10 Curva de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.	170
FIGURA N° 6.11 Curva de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.	172
FIGURA N° 6.12 Curva de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.	174
FIGURA N° 6.13 Curva de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.	176
FIGURA N° 6.14 Curva de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.	178
FIGURA N° 6.15 Curva de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.	180
FIGURA N° 6.16 Curva de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.	182
FIGURA N° 6.17 Curva de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.	184
FIGURA N° 7.1 Distribución normalizada (Campana De Gauss).....	187
FIGURA N° 7.2 Método de la Secante para el Cálculo del Módulo de Elasticidad del Hormigón.	200

RESUMEN

MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ($f_c = 21$ MPa), FABRICADO CON MATERIALES DE LA MINA SAN RAMÓN, UBICADA EN LA PARROQUIA DE MULALÓ EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI Y CEMENTO CHIMBORAZO.

El presente estudio busca ampliar la información que se dispone de los valores del **MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN**, valor que está en función de las propiedades de los agregados obtenidos de varias canteras ubicadas en las provincias del centro-norte del país

Para este estudio se utilizaron los agregados de la cantera “SAN RAMÓN”, ubicada en la parroquia Mulaló, pertenecientes a la ciudad de Latacunga - Provincia Cotopaxi.

Experimentalmente se determinaron todas las propiedades físicas de cada uno de los agregados y con los resultados obtenidos se calcularon las dosificaciones iniciales de mezcla de prueba para la resistencia establecida de 21 Mpa utilizando los métodos del A.C.I

Para la obtención experimental del **MODULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN**, fabricado con estos materiales, se utilizó la Norma ASTM C- 469-94 en cada probeta de las mezclas definitivas, alcanzando el 84%, respecto a las expresiones propuestas por el A.C.I en los comités 318 y 363.

DESCRIPTORES: MODULO ESTATICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGON / AREA MINERA “SAN RAMON” LATACUNGA - COTOPAXI / ENSAYOS DE AGREGADOS / PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL HORMIGON / RESISTENCIA A LA COMPRESION”

ABSTRACT

MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN BASE A SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ($f'_c = 21$ MPa), FABRICADO CON MATERIALES DE LA MINA SAN RAMÓN, UBICADA EN LA PARROQUIA DE MULALÓ EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI Y CEMENTO CHIMBORAZO.

This study seeks to expand the information available for the values **STATIC MODULUS OF ELASTICITY OF CONCRETE** value that is based on the properties of aggregates from various quarries located in the provinces of the Center-North of the country.

For this study were used the aggregates of the "SAN RAMÓN", located in parish Mulaló, which is a major supplying source that city Latacunga - Province Cotopaxi.

Experimentally determined all the physical properties of each one of the aggregates and with the results, the initial dosages of mixture test to the established resistance of 21 MP were calculated using the ACI.

For the experimental obtaining of the **STATIC MODULUS OF ELASTICITY OF CONCRETE** made with these materials, we used the ASTM C-469-94 regulation, in each test tube of the final mixes; achieve the 84% regarding to the proposed terms by ACI in the committees 318 and 363.

“DESCRIPTORS: STATIC MODULUS OF ELASTICITY OF CONCRETE / MINING AREA “ SAN RAMÓN” – COTOPAXI / ADDED TESTING / PHYSICAL AND MACHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE / COMPRESSION STRENGTH”.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 HISTORIA Y EVOLUCIÓN DEL HORMIGÓN.

No se conoce con precisión quien descubrió o utilizó por primera vez el hormigón. Probablemente al mismo tiempo que el hombre dominó el fuego también descubrió el concepto de hormigón. Uno puede imaginar al hombre primitivo junto a su fogón, en el que existen piedras calcáreas, yeso y arcilla. La alta temperatura logra carbonatar la piedra, que se transforma en polvo. Luego al caer un poco de llovizna, el polvo y las piedras se convierten en una masa sólidamente unida, el primer cemento.

Durante la edad de piedra, hace 7.500 años, los habitantes construían el suelo de sus viviendas uniendo tierra caliza, arena, grava y agua. Esta mezcla puede ser considerada como un hormigón rudimentario.

“El hormigón ya se empleó en Asia y en Egipto. Excavaciones permiten establecer que hace 4.500 años, los constructores de la pirámide de Cheops, utilizaron hormigones primitivos. En Grecia existieron acueductos y depósitos de agua hechos con este material, cuyos vestigios aún se conservan. Los griegos, utilizaron como aglomerante, tierra volcánica. También existen indicios para decir que utilizaron caliza calcinada que mezclaron con arcilla cocida y agua. Los romanos lo emplearon en sus grandes obras públicas, y lo extendieron por todo su imperio.”¹

Antes del descubrimiento de los **Cementos** se emplearon como Aglomerantes la Cal Grasa, la Cal Hidráulica, y los Cementos Naturales.

¹ <http://www.microcemento.org/historia-hormigon>

Después del gran papel del hormigón en las construcciones del Imperio Romano, no se encuentran muestras de su uso hasta el año 1.200, en que se vuelve a utilizar para la construcción de grandes obras como la Catedral de Salisbury en Inglaterra, cuyos cimientos están hechos de hormigón.

“En 1.824, James Parker y Joseph Aspdin patentaron un nuevo cemento hidráulico artificial, fabricado por la combustión conjunta de caliza y carbón, que denominaron Portland Cement por su color oscuro, similar a la piedra de la isla de Portland. En sus inicios este material no fue demasiado empleado, a causa de su complejo procedimiento de fabricación, que encarecía su precio.”¹

Desde mediados del XIX comenzó a utilizarse en obras marítimas, y a finales del mismo, asociado con el hierro en forma de Hormigón Armado, en puentes y depósitos, habiéndose extendido su empleo tanto en obras públicas como privadas.

A finales del siglo XIX, el proceso de industrialización y la introducción de hornos rotatorios propiciaron la extensión de su uso para todo tipo de aplicaciones. Actualmente, y a pesar de todas las mejoras técnicas introducidas, el cemento Portland continua siendo, en esencia, muy similar al primero que se patentó, aunque su impacto y prestaciones han mejorado mucho.

Hoy en día, los hormigones fabricados con cemento portland permiten múltiples posibilidades de aplicación. La diversidad de características pone al alcance de la sociedad un amplio abanico de posibilidades para escoger.

Todas las modalidades de hormigones han demostrado a lo largo del tiempo sus excelentes propiedades y su elevado grado de durabilidad y resistencia, lo se puede constatar en las grandes edificaciones, las obras públicas o los conjuntos artísticos, muestra de la funcionalidad y el buen comportamiento de todo un clásico.

Si bien suele considerarse a Joseph Monier (1823-1906) como “el inventor” del hormigón armado a partir de su patente de 1867, la realidad es que varias personas en

diferentes lugares ya venían construyendo estructuras de hormigón armado desde aproximadamente 1850, incluyéndolo al propio Monier.

Se presume que Lambot comenzó sus experiencias con hormigón armado con mobiliario para jardín en 1845 pero su “obra” más difundida fue un bote que fabricó en 1848 a partir de una malla de alambre reforzada con algunas barras más gruesas para ser utilizado en un lago existente en su propiedad de Miraval, Francia. El bote tenía 4 metros de largo, 1.30 metros de ancho y un espesor de sólo cuatro centímetros. Lambot mostró su bote en la Exposición Mundial de París de 1855 donde causó admiración y solicitó una patente sobre el mismo. Sus ideas y experimentos no tuvieron gran suceso pero parecen haber sido bien conocidos por posteriores “inventores” del hormigón armado.

En 1854 Wilkinson patentó en Inglaterra un sistema de losas casetonadas. El sistema consistía en una serie de casetones de yeso que hacían las veces de encofrados perdidos (Wilkinson era fabricante de yeso) en los que se vertía hormigón de modo de conformar una serie de nervios y una losa superior. Las armaduras de los nervios y de las vigas de sostenimiento seguían razonablemente las trayectorias de las tracciones. La losa tenía una malla inferior constituida por barras.

“Según parece, Joseph Monier (1823-1906), fabricante de macetas, comienza a experimentar con macetas de cemento armadas con una malla de alambre alrededor de 1849 pero no es hasta 1867 que obtiene una patente orientada a la construcción de macetas.”²

En ese mismo año muestra su “invento” en la Exposición de París.

La secuencia de patentes de hormigón armado de Monier fue la siguiente:

- 1867 Usos en horticultura (macetas)
- 1868 Tubos y tanques
- 1869 Paneles prefabricados para fachadas
- 1873 Puentes carreteros y peatonales
- 1878 Vigas

² <http://www.ing.unlp.edu.ar/construcciones/hormigon/ejercicios/Sem-ha-1.pdf>

“En 1873 construyó tanques de agua sobre columnas que partieron de 25 m³ y llegaron a tener 200 m³ de capacidad. Sus patentes llegaron a cubrir una serie de elementos estructurales que pasaron a conformar un “sistema” de construcción.

En 1875 construye su primer puente de “cemento armado” en el castillo de Chazlet con 13.80 metros de luz y 4.25 metros de ancho.

Monier, al contar con un sistema patentado, no solamente se consolidó como constructor sino que expandió enormemente sus negocios comercializando su patente en diferentes países. Desde el punto de vista del desarrollo de la Teoría del Hormigón Armado no existe constancia escrita de aportes realizados por la firma Monier en estas primeras épocas. Cada elemento estructural fundaba su diseño en resultados experimentales realizados sobre prototipos.”³

“Hoy poseemos un extenso patrimonio de elementos de hormigón armado, pero apenas hace un siglo no existía ninguno. Maialen Sagarna, profesora de Arquitectura de la UPV/EHU, ha estudiado la evolución y desarrollo del “material más revolucionario del siglo XX”. Se ha fijado en los rasgos de las construcciones levantadas con hormigón armado en cada década, y ha explicado cómo y por qué se utilizó dicho material en cada momento.”³

“La expansión del hormigón armado estuvo muy ligada a la industrialización. Tuvo su punto de partida a comienzos del siglo XX, cuando llegaron las primeras patentes desde Francia e Inglaterra, se comenzó a producir el cemento Pórtland industrialmente y surgió la necesidad de crear nuevas construcciones a causa de la industrialización.

Entre las claves del próspero desarrollo del que gozó, destacan la bien avenida industria del cemento y el acero, la cercanía a Francia, el desarrollo socioeconómico impulsado por la industrialización y la existencia de personas relevantes que fueron imprescindibles para su desarrollo.”⁴

³ <http://www.ing.unlp.edu.ar/construcciones/hormigon/ejercicios/Sem-ha-1.pdf>

⁴ <http://www.agenciasinc.es/Noticias/La-historia-del-hormigon-armado-en-el-siglo-XX-recopilada-en-una-tesis>

Sagarna ha clasificado en dos grupos las primeras edificaciones de hormigón armado. Por una parte, las construcciones totalmente funcionales; el hormigón se encuentra a la vista, ya que no resulta necesario cubrirlo. Ejemplo de ello son el acueducto de la fábrica de papel del Araxes, el pabellón de Boinas Elósegui en Tolosa y el puente de La Fandería en Errenteria. El segundo grupo está compuesto por las infraestructuras nobles urbanas; debían ser bellas y funcionales, por lo que se cubrió el hormigón. El puente de María Cristina, la sede del Banco Guipuzcoano y el Palacio de Justicia de la calle San Martín en San Sebastián y el Archivo Provincial de Tolosa forman parte de este grupo de construcciones arquitectónicamente historicistas o eclécticas.

A partir de 1910, este material también se utilizó para reparar los miradores de los edificios del ensanche Cortázar de San Sebastián, así como para reconstruir las salas de cine y teatro calcinadas por los incendios, al ser el hormigón un material incombustible.

1.2 IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.

El hormigón es hoy en día el material con el mayor consumo en el sector de la construcción. Éste comentario puede ser muy obvio y creíble por todos nosotros sin necesidad de recurrir a tablas o estadísticas comparativas junto a otros materiales, pues tanto los paisajes urbanos como las grandes obras que vemos en la mayoría de los entornos naturales donde vivimos nos reflejan esta realidad día tras día.

El presente estudio busca ampliar la información que se dispone de los valores del módulo estático de elasticidad del hormigón, valor que está en función de las propiedades de los agregados, tales como: densidad, forma, tamaño, textura superficial, dureza y otras características que se irán desarrollando en el transcurso de la presente investigación.

Hay que poner énfasis en que en nuestro país, se han adoptado ecuaciones y valores impuestos por institutos internacionales tales como: American Concrete Institute (A.C.I) y el American Society for Testing and Materials (A.S.T.M.), los cuales se basan en investigaciones realizadas en su medio y con sus propios materiales; sin embargo estas ecuaciones no aseguran un comportamiento similar a los hormigones de nuestro medio.

Así tenemos para nuestro estudio que el ACI -318, plantea constantes para el cálculo del módulo de elasticidad del hormigón y establece valores referenciales para ofrecer seguridad: $E_c = 4700\sqrt{f'_c}$ (MPa), donde f'_c es el esfuerzo a la compresión del hormigón.

Es por esta razón que, nos proponemos desarrollar la presente investigación del cálculo del Módulo Estático de Elasticidad con los materiales de la mina de “San Ramón” de la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi; lo que permitirá brindar mayor seguridad y ahorro a cada proyecto de ingeniería civil.

1.3 ESTADO ACTUAL DEL TEMA PROPUESTO RELACIONANDO CON LAS INVESTIGACIONES EN NUESTRO PAÍS.

Desde años anteriores, se han realizado investigaciones sobre el módulo estático de elasticidad del hormigón, en base a la resistencia a la compresión (E_c), y específicamente la Universidad Central del Ecuador y la Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemática han aportado por mucho tiempo su estudio en diversas canteras del país, y muy en particular en aquellas donde su uso es una constante y una fuente de provisión para las empresas constructoras. En nuestro caso, en particular se estudian los agregados de la mina de “San Ramón” de la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi.

El Comité del American Concrete Institute (A.C.I) recomienda determinados valores referenciales con la finalidad de ofrecer seguridad, estos son: $E_c = 4700\sqrt{f'_c}$ (MPa), donde f'_c es el esfuerzo a la compresión del hormigón, sin considerar las propiedades de los materiales locales que forman parte del hormigón en cada zona de nuestro país.

Además el mencionado comité relaciona el módulo de elasticidad con la resistencia a la compresión simple y el peso unitario del hormigón. Plantea valores para hormigones con peso unitario entre 1500 y 2500 Kg/m³ de $E_c = w_c^{1.5} 0.14\sqrt{f'_c}$ (Kg/cm²) y para hormigones de peso normal puede considerarse $E_c = 15100 \sqrt{f'_c}$ (Kg/cm²).

El ACI -363 considera una relación entre el módulo de elasticidad (E_c) y el esfuerzo a la compresión f'_c , teniendo la siguiente expresión: $E_c = 3320*\sqrt{f'_c} + 6900$ (MPa).⁵

Se puede concluir fácilmente que el análisis de las estructuras puede verse favorecido o perjudicado por el hecho de considerar un valor de E_c , estandarizado por una sola norma que es el del A.C.I. 318, la cual se ha venido manejando desde hace algunas décadas atrás en nuestro medio. Esta fórmula ha sido y es utilizada a nivel nacional de forma errática ya que el módulo de elasticidad estático del hormigón se debe tomar según las propiedades de los materiales de cada mina, obtenidas en laboratorios autorizados.

⁵ GARZÓN, David. *Módulo de Elasticidad del Hormigón. Tesis 2012 – Pág. 257*

Aquí, es menester señalar entonces, la importancia que tiene El Módulo Elástico de Elasticidad del Hormigón en el cálculo y diseño estructural para la determinación de: las derivas de piso, rigideces, deflexiones y agrietamientos en los miembros estructurales.

Por esta razón, la Universidad Central del Ecuador siempre presente en el desarrollo científico, ha realizado estudios en las diferentes zonas del país, con la finalidad de unificar dichos valores; dependiendo de las zonas de estudio, pues existe referencias, que estos dependen esencialmente del lugar o canteras de explotación de los agregados, y es así como el valor del Módulo Elástico de Elasticidad del Hormigón varía de un lugar a otro, consecuencia de lo anotado es que nuestra investigación aportará con este fin, comprendiendo su estudio los agregados de la mina de “San Ramón” de la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi.

Por lo antes mencionado, presentamos el siguiente cuadro de los Módulos de Elasticidad del Hormigón obtenidos en investigaciones realizadas en la Universidad Central del Ecuador, utilizando agregados de diversas canteras, cuya fuente de información es el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemática.

Tabla N° 1.1 Resumen de Módulos de Elasticidad Obtenidos en el Laboratorio de Ensayo de Materiales (U.C.E.)

CANTERA	f'c	Módulo de Elasticidad Kg/cm²		
	Requerido	ACI 318	ACI 363	ASTM
	Kg/cm²			C469M -10
Pifo (Pichincha)	210	85004,00	130634,00	20758,43
	240	92751,00	136124,00	19852,11
	260	90386,00	134448,00	20358,24
	280	86335,00	131577,00	21206,14
	300	96934,00	139089,00	20863,14
Guayllabamba (Pichincha)	210	217813,50	222859,70	131166,60
	300	236850,70	236307,30	134801,20
San Antonio (Pichincha)	210	240422,07	240765,31	125433,69
	240	242127,55	241973,32	124655,35
	280	245669,06	244483,37	124562,79
	300	247173,20	245549,20	123430,40
	320	248741,86	246660,79	129721,16
Mitad del Mundo (Pichincha)	200	213419,00	218799,40	115058,90
	220	228159,70	229145,90	134473,20
	240	244182,00	240392,00	138423,00
	300	247173,20	245549,22	123430,37
Mina San Roque (Imbabura)	210	242823,20	240523,70	143680,70
	280	260910,00	253302,40	148180,70
Mina Copeto (Santo Domingo)	210	226050,00	220680,00	215100,00
	280	243100,00	240720,00	238010,00
Área Minera Rocafuerte (Tulcán)	210	242382,10	240214,60	140803,30
	240	237046,50	236445,60	188289,50
Rancho la Paz Km 14 Aloag -Santo Domingo	210	239725,50	238338,00	199218,80
	280	249735,40	245408,90	203364,50
Mina de Cerro Negro (Riobamba)	210	262382,68	255702,01	211795,56
	300	284071,59	271022,60	212267,89
Mina San Joaquín (Latacunga)	210	242393,29	241581,82	154492,40
	300	252510,86	248728,69	175283,17

De estos valores podemos decir que el Módulo Estático de Elasticidad del Hormigón depende, de la cantera de donde se extraen estos materiales.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

- ✓ La presente investigación, tiene la finalidad de determinar experimentalmente el Módulo Estático de Elasticidad del Hormigón, utilizando agregados extraídos de la Mina de “San Ramón” ubicada en la parroquia de Mulalo-Provincia de Cotopaxi. Con estos materiales se diseñará y estudiará hormigones de 21 MPa, para luego difundir los resultados obtenidos y dar a conocer a diseñadores y constructores el valor de dicho módulo; para que de esa manera los resultados de los cálculos estructurales se ajusten a la realidad.

1.4.1 Objetivos General.

- ✓ Determinar el Módulo Estático de Elasticidad del Hormigón utilizando las propiedades físicas y mecánicas de los agregados de la mina de “San Ramón” y del cemento Chimborazo, parámetro que es influyente en sumo grado en el diseño de estructuras de hormigón y en el cálculo de las deformaciones esperadas.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- ✓ Determinar las propiedades mecánicas del hormigón elaborado en el laboratorio de resistencia 21MPa.
- ✓ Establecer la comparación entre los valores del Módulo de Elasticidad Estático del hormigón propuesto por el comité ACI 318-363 y los resultados obtenidos a través de esta investigación realizada con los materiales locales.
- ✓ Aportar con datos para determinar una constante para el módulo estático de elasticidad, que sea aplicable a nuestro medio, a través de la difusión de sus resultados a nivel regional, concientizando su uso adecuado de los valores de Módulo de Elasticidad Estático de Hormigón de cada mina.

CAPITULO II

EL HORMIGÓN

2.1 DEFINICIÓN.

“La palabra hormigón procede del latín “formicius” o “concretus”, que traducido quiere decir homogéneo con molde o forma”.⁶

El hormigón es una mezcla íntima y homogénea de agregados finos, agregados gruesos, un aglomerante y agua en las debidas proporciones para que fragüe y endurezca. En el momento de su amasado, puede añadirsele otros productos o materiales para mejorar alguna de sus características determinadas.

El hormigón es uno de los materiales de construcción de mayor uso, el cual posee una estructura sumamente compleja. A diferencia de la mayoría de los materiales que se manejan en ingeniería civil no sólo a nivel microscópico, sino a simple vista, su estructura real dista de ser la de un material homogéneo. En este tema se estudiaron los hormigones fabricados con cemento Portland Puzolanico.

El cemento junto a una fracción del agua del hormigón componen la parte pura cuyas propiedades dependen de la naturaleza del cemento y de la cantidad de agua utilizada. Esta pasta pura desempeña un papel activo: envolviendo los agregados inertes y rellenando los vacíos de los agregados, confieren al hormigón sus características de resistencia mecánica, de contracción y de fisuras.⁷

2.2 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS.

Las razones que nos llevan a un uso adecuado de los hormigones, provienen de realizar un estricto control de las propiedades de dicho material. Para darle una función específica al hormigón, se debe controlar sus propiedades físicas y mecánicas.

⁶ <http://es.wikipedia.org/wiki/Hormig%C3%B3n>

⁷ *Hormigón Armado - Teoría y Práctica de Cálculo: I y D. GRU - Año de Edición: 1944 – Pág. 17.*

Los factores que intervienen en las propiedades físicas son:

El factor **Térmico**, nos obliga a usar materiales capaces de resistir según sea el caso, a elevadas temperaturas en verano o en zonas cálidas, bajas temperaturas como ocurre en los inviernos y cambios de temperatura como ocurre en nuestro país o en un cambio de estación. Este factor térmico también nos obliga a preocuparnos sobre la dilatación o la contracción que sufren los hormigones a consecuencia de la reacción química por fraguado.

El factor **Hídrico**, en hormigones sometidos a la acción del agua, por lo que un uso adecuado consistirá en el empleo de hormigones impermeables, los cuales se logra con la inclusión de aditivos químicos y que soporten presiones horizontales, como es el caso de embalses, presas, tanques etc.

El factor **Acústico**, nos señala el empleo de hormigones capaces de absorber, reflejar o aislar completamente el sonido o el ruido, entre ambientes según sea el caso a que nos referimos.

Los factores **Masa y Peso**, definen el uso de hormigones de alta densidad o pesados (3.5 a 5) kg/dm³, de mediana densidad o normales (2.2 a 2.5)kg/dm³, de baja densidad o livianos (0.2 a 1.5) kg/dm³. Se mide mediante la 9 propiedad del peso específico, el cual varía según la clase de áridos y procedimiento de colocación.

Los factores **Forma y Dimensión**, está estrechamente relacionado con la función constructiva, la resistencia y la estética. Un ejemplo común es cuando necesitamos hormigones en masa u hormigones para elementos estructurales esbeltos, entra primordialmente la propiedad de la trabajabilidad del hormigón.

El factor **Textura**, nos indica que un hormigón puede tener una apariencia lisa, áspera o rugosa etc. Obteniendo una textura determinada que es un importante factor estético dependiendo si es hormigón visto o es recubierto con enlucidos.

Las propiedades mecánicas del hormigón se encuentran sometidos a la acción de fuerzas externas, esfuerzos internos y a los efectos de su propio peso, el material debe tener la resistencia necesaria para absorber los diferentes esfuerzos a que van a estar sometidos,

tomando en cuenta que el hormigón en su base teórica, resiste altos esfuerzos de compresión, y son muy limitadas o nulas las resistencias de tracción.

Los factores que intervienen en las propiedades mecánicas son:

Cargas.- Las fuerzas externas aplicadas a los elementos resistentes, así como su peso propio, reciben el nombre de cargas. Estas cargas se expresan en unidades de peso, unidades de peso por longitud o en unidades de peso por superficie unitaria, o kg, kg/m y kg/m² según el sistema métrico decimal. Estas cargas según su naturaleza pueden ser estáticas, vivas, de repetición, o de impacto, y según su disposición puede ser distribuida o concentradas.

Esfuerzos.- Al aplicar cargas a los elementos de una estructura, en nuestro caso, el material estructural está representado por el hormigón, con una forma volumétrica, el cual soporta varios esfuerzos, como son, de corte, axial, y torsión. Concluimos que los esfuerzos son una consecuencia de las cargas, por lo que es imprescindible conocer o determinar las cargas que van a ser aplicadas a cualquier miembro de la estructura.

Adherencia.- Está basada en la perfecta unión del hormigón con el acero de refuerzo, resistiendo bien los esfuerzos de compresión y tracción.

Deformaciones.- Como sabemos, ningún material es totalmente rígido y el hormigón no es la excepción, por lo que tiene deformaciones por la acción de la gravedad, peso propio, por temperatura, por contracción de fraguado, por aplicación de cargas externas, por el tiempo de funcionamiento, etc. Esta propiedad mecánica será estudiada con detalle más adelante en este capítulo.⁸

⁸ *Materiales de Construcción; Félix Orús Asso, Pág. 314*

2.2.1 Propiedades del Hormigón Fresco.

El hormigón fresco se lo obtiene mezclando los agregados, agua, y cemento para darle distintas formas en sus respectivas molduras. El tiempo del hormigón en estado fresco es muy corto, por lo que se debe analizar sus propiedades y darle forma antes de que el hormigón inicie la reacción de fraguado rápido.

El hormigón fresco debe cumplir una serie de propiedades, las cuales se las debe controlar con ensayos establecidos por normas nacionales e internacionales, para obtener el hormigón deseado en obra, las propiedades son:

Consistencia.

Es la mayor o menor facilidad que tiene el hormigón fresco para deformarse o adaptarse a una forma específica; por consiguiente, para ocupar todos los vacíos del molde o encofrado. Los factores más importantes que producen esta deformación son la cantidad de agua de amasado, el tamaño máximo de los agregados, la forma de los agregados y su granulometría.

Una consistencia inadecuada en obra, puede provocar la aparición de vacíos, zonas sin rellenar, porosidad, armaduras sin cubrir y segregaciones.

La determinación de la consistencia de la mezcla no mide directamente la trabajabilidad, pero es de gran ayuda en obra. La consistencia se mide en términos de asentamientos, para lo cual existen varios métodos para determinar, siendo uno de los más utilizados el **“CONO DE ABRAMS”**.⁹

La consistencia depende:

- Grado de finura del cemento, pues a mayor finura mayor consistencia en la mezcla.
- Cantidad de agua de amasado empleada, pues a mayor cantidad de agua, la mezcla se vuelve más fluida y viceversa.

⁹ *Hormigón Armado Tomo 1- P. Jiménez Montoya: Quinta Edición: 1971: Pág. 58 – 59.*

- Forma y textura de los agregados, ya que si son ásperos y angulares se necesitará mayor cantidad de pasta para llegar a obtener una determinada consistencia.
- Cantidad y graduación de los agregados, pues a mayor cantidad y mala graduación de los agregados, más rígida y seca será la mezcla.

Método de compactación que se utilice, el cuál influye mucho.

Tipos de Consistencia:

- SECA – Vibrado enérgico.
- PLÁSTICA – Vibrado normal.
- BLANDA – Apisonado.
- FLUIDA – Barra.

Tabla N° 2.1 Consistencia / Asentamiento

CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO EN EL CONO DE ABRAMS (cm)
Seca	0 – 2
Plástica	3 – 5
Blanda	6 – 9
Fluida	10 – 15

FUENTE: http://www.construmatica.com/construpedia/Consistencia_del_Hormig%C3%B3n_Fresco

Tabla N° 2.2 Tolerancias

CONSISTENCIA	TOLERANCIA (cm)
Seca	0
Plástica	±1
Blanda	±1
Fluida	±1

FUENTE: http://www.construmatica.com/construpedia/Consistencia_del_Hormig%C3%B3n_Fresco

Trabajabilidad.

Se considera como trabajabilidad a la facilidad que presenta el hormigón fresco para ser colocado y compactado en cualquier molde. Los hormigones con baja trabajabilidad presentan problemas de mezclado y/o problemas de compactación dentro de los moldes, lo que puede redundar en una disminución de la resistencia. Para mejorar la trabajabilidad de un hormigón, se puede añadir agua con la consiguiente disminución de resistencia, o se pueden incluir aditivos plastificantes que no disminuirán su resistencia final. Es importante señalar que la trabajabilidad es una propiedad de definición algo compleja, pues abarca propiedades de la mezcla fresca que califican la "facilidad de colocación" y "la resistencia a la segregación" como la consistencia y la cohesión.

Los factores influyentes para que este proceso sea aceptable son los siguientes:

- Cemento fino.
- Cantidad de pasta.
- Velocidad de hidratación del cemento menor (bajo calor de hidratación).
- Los agregados finos sean de superficie lisa y redondeada.
- La temperatura ambiental sea baja.
- La humedad relativa sea alta.
- La velocidad del viento sea baja.
- La utilización de aditivos fluidificantes.
- Medios de puesta en obra.
- Relación agua/cemento.

Homogeneidad.

Es la propiedad por la cual, los diferentes componentes del hormigón se presentan regularmente distribuidos en toda la masa, de manera tal que, dos muestras tomadas de distintos lugares del mismo volumen resulten iguales.

La masa de hormigón debe ser homogénea, para lo cual, la mezcla debe efectuarse lo mejor posible, y se cuidará que durante el transporte, no se produzcan segregaciones de los agregados gruesos.

La homogeneidad puede perderse por:

- La segregación que no es más, que la separación de los agregados gruesos y finos.
- La decantación, sudado o exudación, es una forma de segregación que es cuando los agregados gruesos caen al fondo y el mortero queda en la superficie del hormigón recién colocado, se lo conoce también como ganancia de agua y resulta de la incapacidad de los materiales constitutivos para almacenar toda el agua del mezclado.

Ambos fenómenos aumentan con la cantidad de agua; con el tamaño máximo del agregado, con las vibraciones o sacudidas durante el transporte y con la puesta en obra en caída libre. Para conseguir la homogeneidad es necesario un buen amasado haciendo una mezcla trabajable con una mínima cantidad de agua, un mayor contenido de cemento y arenas naturales que tengan un adecuado porcentaje de finos, para mantenerse, se requiere de un transporte cuidadoso y una colocación adecuada.¹⁰

Uniformidad.

Propiedad a través de la cual se debe asegurar que los agregados se encuentren unidos idénticamente con la pasta de cemento.

La uniformidad del hormigón depende de muchas variantes, entre las cuales podemos destacar:

- El tiempo que se le da al hormigón para su mezclado.
- La buena adherencia entre pasta y agregado.
- La granulometría de los agregados empleados para la fabricación del hormigón.

¹⁰ http://www.construmatica.com/construpedia/Consistencia_del_Hormig%C3%B3n_Fresco

- La dosificación de los componentes.
- El tipo de transporte.
- Los procesos de puesta en obra.

Densidad.

La densidad es la magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo. Su unidad en el Sistema Internacional es el kilogramo por metro cúbico (kg/m^3), aunque frecuentemente se expresa en g/cm^3 . La masa es la medida de cuánto material tiene un objeto, entonces la densidad es la medida de cuán compacta está ese material.

Tabla N° 2.3 Promedio de las Densidades Observadas para el Hormigón Fresco
(Unidades SI)*

Tamaño máximo del Agregado mm	Contenido de aire, porcentaje	Agua, kg/m^3	Hormigón, kg/m^3	Densidad, kg/m^3 **				
				Gravedad Específica del Agregado**				
				2.55	2.6	2.65	2.7	2.75
19	6	168	336	2194	2227	2259	2291	2323
37.5	4.5	145	291	2259	2291	2339	2371	2403
75	3.5	121	242	2307	2355	2387	2435	2467

- Fuente: Bureau of Reclamation, 1981, Tabla 4
- Hormigón con aire incluido, con la cantidad de aire incluida. (“)
- En condición saturada, con superficie seca. Multiplique la densidad relativa del agregado por 1000 para obtenerse la densidad de las partículas de agregado en kg/m^3 . ¹¹

¹¹ http://www.construmatica.com/construpedia/Consistencia_del_Hormig%C3%B3n_Fresco

2.2.2 Propiedades del Hormigón Endurecido.

Las propiedades del hormigón endurecido dependen de la dosificación inicial de los componentes básicos y complementarios, del proceso de mezclado, y del proceso de curado.

El hormigón endurece gracias a la reacción química que se produce entre el agua y el cemento, generalmente las características mecánicas del hormigón quedan especificadas a partir de su comportamiento en las siguientes propiedades:¹²

Densidad.

La densidad o masa específica del hormigón endurecido depende de muchos factores, principalmente de la naturaleza de los agregados, de su granulometría y del método de compactación empleado. Será tanto mayor cuanto mayor sea la de los agregados utilizados y mayor cantidad de agregado grueso contenga, bien clasificado; y tanto mayor cuanto mejor compactado esté.

De todas formas, las variaciones de la densidad del hormigón son pequeñas, pudiendo tomarse en los cálculos el valor 2.300 kg/m^3 para los hormigones de masa y 2.400 kg/m^3 para los armados. Los valores indicados corresponden a hormigones normales. Los hormigones pesados fabricados con agregados de barita o metálicos, tienen densidades de 3.000 a 3.500 kg/m^3 y aún mayores, empleándose en protecciones contra radiaciones. Los hormigones ligeros, fabricados con piedra pómez u otros agregados de pequeña masa específica, tienen densidades del orden de 1.300 kg/m^3 e incluso inferiores a mil.

Resistencia Mecánica.

Es la capacidad que tiene el hormigón para soportar las cargas que se apliquen sin agrietarse o romperse. La resistencia es una de las propiedades más importantes del hormigón, principalmente cuando se lo utiliza con fines estructurales. El hormigón, en su calidad de constituyente de un elemento estructural, queda sometido a las tensiones derivadas de las sollicitaciones que actúan sobre éste. Si sobrepasan su capacidad

¹² *Hormigón Armado; Carlos Ricardo Llopiz, Pág. 25*

resistente se producirá fallas, primero de origen local y posteriormente generalizadas, que podrán afectar la seguridad de la estructura.

Por este motivo, los elementos estructurales deben ser dimensionados de manera que las tensiones producidas no sobrepasen la capacidad resistente del material constituyente, lo cual muestra la importancia de conocer esta característica.

Es diferente según el tipo de esfuerzos de que se trate: su resistencia a la compresión es unas diez veces mayor que su resistencia a la tracción. Esta baja resistencia a la tracción es la que llevó a incorporar varillas de Hierro o Acero al hormigón, para conformar el Hormigón Armado.¹³

Flexocompresión.

La mayor parte de los elementos estructurales sometidos a compresión están solicitados por momentos flectores, por lo que en su diseño debe tomarse en consideración la presencia simultánea de los tipos de acciones.

En zonas sísmicas como las existentes en nuestro país, el efecto flexionante usualmente domina el diseño con relación a las solicitaciones axiales por lo que, a pesar de que los momentos por cargas gravitacionales sean importantes, se suelen escoger columnas con armadura simétrica, dada la reversibilidad de los sismos.

Módulo de Rotura.

La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del hormigón. Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de hormigón no reforzada. Se mide mediante la aplicación de cargas a vigas de hormigón de 6 x 6 pulgadas (150 x 150 mm) de sección transversal y con luz como mínimo tres veces el espesor. La resistencia a la flexión se expresa como el Módulo de Rotura (MR) en libras por pulgada cuadrada y (MPa.) y es determinada mediante los métodos de ensayo ASTM C78 (cargada en los puntos tercios) o ASTM C293 (cargada en el punto medio)

¹³ http://www.construmatica.com/construpedia/Hormig%C3%B3n_Endurecido

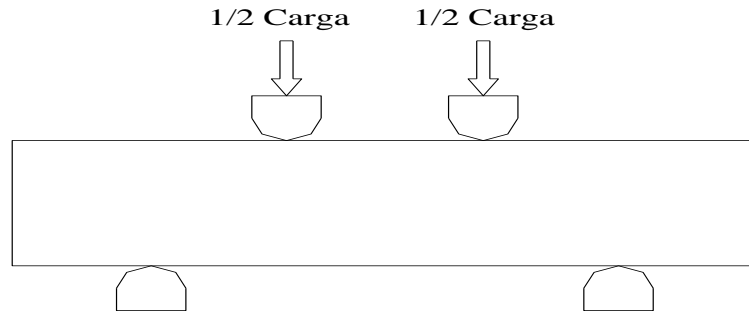


FIGURA N° 2.1 Módulo de Rotura.

ASTM C78. Cargas en los puntos tercios. La mitad de la carga se aplica en cada tercio de la luz. El módulo de rotura es más bajo que en el caso de la carga en el punto medio. La tensión máxima en el tercio medio de la viga.

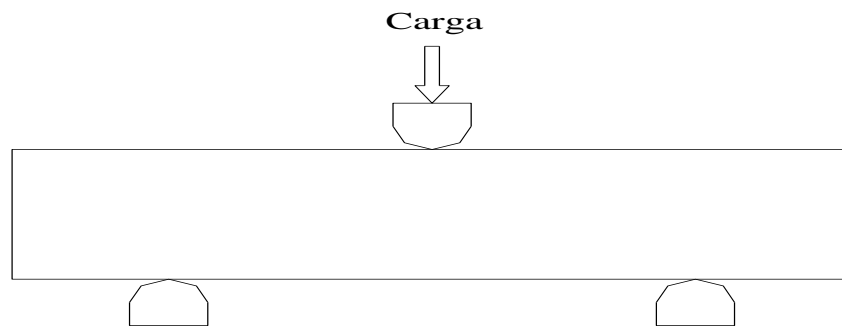


FIGURA N° 2.2 Módulo de Rotura.

ASTM C293. Cargas en el punto medio. Toda la carga se aplica en el centro de la luz. El módulo de rotura será mayor que en caso de la carga en los puntos tercios. La tensión máxima sólo en el tercio de la viga.

El módulo de rotura es cerca del 10% al 20 % de la resistencia a compresión, en dependencia del tipo, dimensiones y volumen del agregado grueso utilizado; sin embargo la mejor correlación de los materiales específicos es obtenida mediante ensayos de laboratorio para los materiales dados y el diseño de la mezcla. El módulo de rotura determinado por la viga cargada en los puntos tercios es más bajo que el módulo de rotura determinado por la viga cargada en el punto medio, en algunas ocasiones tanto como en un 15%.

Resistencia Térmica.

La resistencia al fuego y las propiedades térmicas del hormigón conductividad, difusibilidad y coeficiente térmico de expansión dependen hasta un cierto punto de los constituyentes minerales de los agregados empleados.¹⁴

Durabilidad.

La durabilidad del hormigón se define como la capacidad para comportarse satisfactoriamente frente a las acciones físicas y químicas agresivas a lo largo de la vida útil de la estructura, protegiendo también las armaduras y elementos metálicos embebidos en su interior. Por ello se considera el tipo de ambiente en que se va a encontrar la estructura y que puede afectar a la corrosión de las armaduras, ambientes químicos agresivos, zonas afectadas por ciclos de hielo-deshielo.

Tabla N° 2.4 Factores que afectan al Hormigón.

FACTORES	DESCRIPCIÓN
Mecánicos	Impactos o choques, vibraciones, sobrecargas.
Físicos	Ciclo de hielo/deshielo (grandes diferencias térmicas), fuego, causas higrotérmicas.
Químicos	Terrenos agresivos, contaminación, atmosférica, filtración de aguas.
Biológicos	Vegetación, microorganismo.

FUENTE: <http://www.construmatica.com/construpedia/Hormig%C3%B3n>

¹⁴ <http://publiespe.espe.edu.ec/librosvirtuales/hormigon/temas-de-hormigon-armado/hormigon01.pdf>

Permeabilidad.

La permeabilidad de un hormigón es la facilidad que presenta éste a ser atravesado por un fluido, bien sea líquido o gaseoso, y es consecuencia de la porosidad que posee la pasta hidratada y los agregados, de una falta de compactación adecuada e incluso de la exudación.

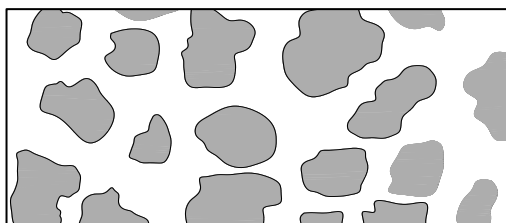
Las dos formas en que el agua puede penetrar en el hormigón: por presión y por capilaridad. Los factores que influyen en la permeabilidad son los mismos que hacen variar su red capilar.

El más influyente es, sin duda, la relación agua/cemento. Al disminuir ésta, disminuye la permeabilidad: mientras que para una relación agua/cemento igual a 0,5 el factor de permeabilidad es aproximadamente 15, para 0,8 es alrededor de 450, o sea, treinta veces mayor.¹⁵

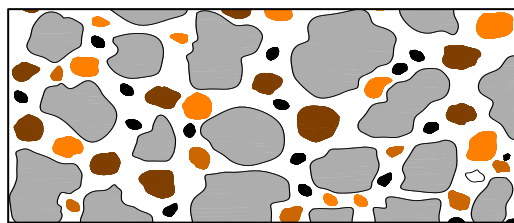
Porosidad.¹⁶

La porosidad se considera la proporción de huecos respecto de la masa total. Influye en la resistencia, la densidad, y la permeabilidad del Hormigón

Un hormigón monogranular que presenta un elevado contenido de vacíos tiene una porosidad es elevada, mientras que un hormigón con granulometría continua presenta una menor cantidad de vacíos, por tanto; su porosidad es reducida.



Un hormigón monogranular presenta un elevado contenido de vacíos: su porosidad es elevada.



Un hormigón con granulometría continua presenta una menor cantidad de vacíos, su porosidad es reducida.

FIGURA N° 2.2 Porosidad del Hormigón.

¹⁵ <http://publiespe.espe.edu.ec/librosvirtuales/hormigon/temas-de-hormigon-armado/hormigon01.pdf>

¹⁶ http://www.construmatica.com/construpedia/Hormig%C3%B3n_Endurecido

Módulo de Elasticidad.

Cuando se dibujan las curvas Esfuerzo – Deformación (σ - ϵ) de las muestras cilíndricas de hormigón, sometidas a compresión bajo el estándar ASTM, se obtienen diferentes tipos de gráficos que dependen fundamentalmente de la resistencia a la rotura del material, como se muestra en la siguiente figura.

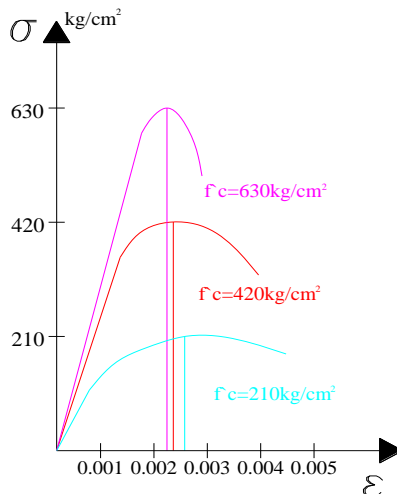


FIGURA N° 2.3 Diagrama Esfuerzo vs Deformación. ¹⁴

Los hormigones de menor resistencia suelen mostrar una mayor capacidad de deformación que los hormigones más resistentes.

Todos los hormigones presentan un primer rango de comportamiento relativamente lineal (similar a una línea recta a la curva esfuerzo-deformación) y elástico (en la descarga recupera la geometría previa a la carga) ante la presencia incremental de solicitaciones de compresión, cuando las cargas son comparativamente bajas (menores al 70% de la carga de rotura), y un segundo rango de comportamiento no lineal e inelástico (con una geometría curva en la curva esfuerzo – deformación) cuando las cargas son altas.

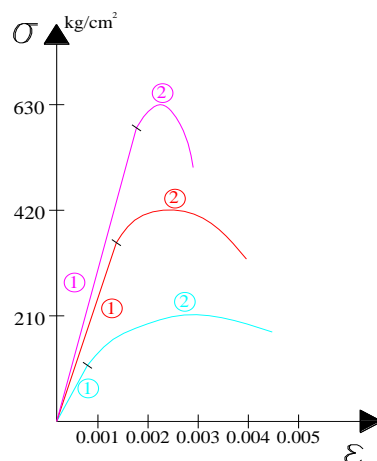


FIGURA N° 2.4 Diagrama Esfuerzo vs Deformación.¹⁴

La pendiente de la curva en el rango de comportamiento lineal recibe la denominación de “Módulo de Elasticidad” del material o “Módulo de Young”, que simboliza “Ec”.

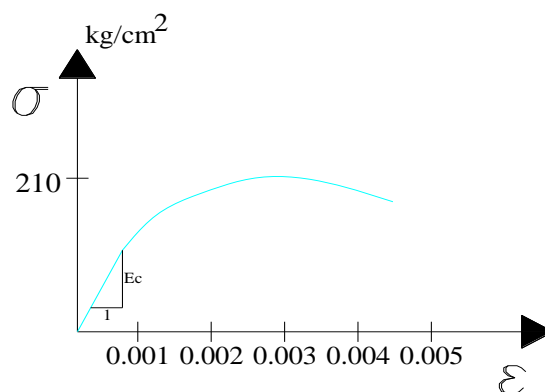


FIGURA N° 2.5 Determinación del Módulo de Elasticidad.¹⁷

El módulo de elasticidad puede calcularse mediante la siguiente expresión.

$$E_c = \frac{\sigma_{c,1}}{\epsilon_{c,1}}$$

El módulo de elasticidad es diferente para distintas resistencias a la compresión de los hormigones, e incrementa un valor cuando la resistencia del hormigón mayor. El A.C.I. (American Concrete Institute) propone la siguiente expresión (que también es recogida

¹⁷ <http://publiespe.espe.edu.ec/librosvirtuales/hormigon/temas-de-hormigon-armado/hormigon01.pdf>

por el Código Ecuatoriano de la Construcción), obtenida experimentalmente, como forma aproximada de calcular el módulo de elasticidad del hormigón, en función de la resistencia a la compresión del mismo.

$$Ec = 15100\sqrt{f'c}$$

Dónde:

Ec: Módulo de elasticidad del hormigón medido en Kg/cm².

f'c: Resistencia a la compresión del hormigón medido en Kg/cm².

A continuación se presenta una tabla que relaciona la resistencia de los hormigones utilizados con más frecuencia con su módulo de elasticidad.

Tabla N° 2.5 Resistencias de Hormigones con su Módulo de Elasticidad.

RESISTENCIA (Kg/cm²)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (Kg/cm²)
210	217000
280	251000
350	281000
420	307000

FUENTE: <http://publiespe.espe.edu.ec/librosvirtuales/hormigon/temas-de-hormigon-armado/hormigon01.pdf>

2.3 CARACTERÍSTICAS DE DEFORMACIÓN.

Las propiedades mecánicas de los materiales usados en ingeniería se determinan pruebas efectuadas sobre muestras del material. Las pruebas se realizan en laboratorios de materiales dotados con equipos de prueba capaz de cargar las probetas de distinta manera, incluso carga estática. Este tipo de comportamiento es sumamente importante en ingeniería ya que muchas estructuras, debido a su importancia se diseñan para funcionar de acuerdo a niveles de esfuerzo, a fin de evitar deformaciones permanentes debidas a fluencia o a flujo plástico. La relación lineal entre esfuerzo unitario y la

deformación específica para un elemento sometido a tracción o compresión simple puede expresarse mediante la ecuación

$$E = \frac{P * L}{A * S}$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Donde E es una constante de proporcionalidad conocida como el Módulo de Elasticidad del material. El Módulo de Elasticidad es la pendiente del diagrama esfuerzo (σ) vs deformación (ε) en la región elástica y su valor depende del material particular que se utilice.

Esta ecuación se aplica exclusivamente en los cálculos de elementos sometidos a tracción y compresión simple, siempre y cuando estén trabajando en el rango elástico. El diagrama característico esfuerzo – deformación del hormigón depende de numerosas variables, como son: edad del hormigón, duración de la carga, forma y tipo de la sección, naturaleza de la sollicitación, tipo de árido, estado de humedad, etc.¹⁸

2.4 DEFORMACIONES ELÁSTICAS.

El término deformaciones elásticas es un poco ambiguo, puesto que la curva esfuerzo-deformación para el hormigón no es una línea recta aun a niveles normales de esfuerzo (Figura 2.4), ni son enteramente recuperables las deformaciones. Pero, eliminando las deformaciones plásticas de esta consideración, la porción inferior de la curva esfuerzo-deformación instantánea, que es relativamente recta, puede llamarse convencionalmente elástica. Entonces es posible obtener valores para el módulo de elasticidad del concreto. El módulo varía con diversos factores, notablemente con la resistencia del hormigón, la edad del mismo, las propiedades de los agregados y el cemento, y la definición del módulo de elasticidad en sí, si es el módulo tangente, inicial o secante. Aún más, el módulo puede variar con la velocidad de la aplicación de la carga y con el tipo de

¹⁸<http://www.construaprende.com/tesis01/121-concreto/1212-caracteristicas-de-esfuer.html>

muestra o probeta, ya sea un cilindro o una viga. Por consiguiente, es casi imposible predecir con exactitud el valor del módulo para un hormigón dado.¹⁹

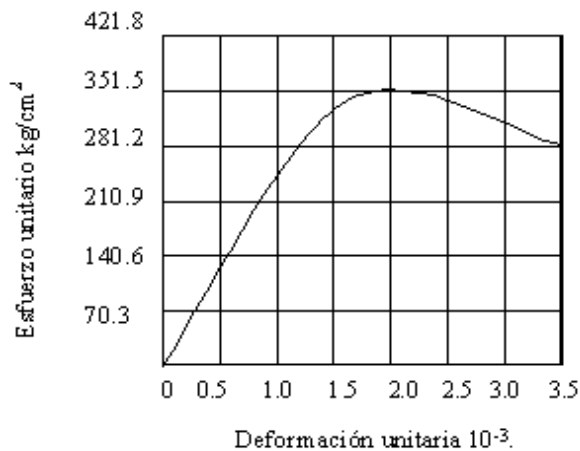


FIGURA N° 2.6. Curva típica esfuerzo-deformación para concreto de 350 kg/cm²

2.5 DEFORMACIONES LATERALES.

La deformación unitaria lateral es proporcional a la deformación axial en el margen elástico lineal, siempre y cuando el material sea homogéneo e isotrópico. Un material es homogéneo si tiene las mismas propiedades en todos los puntos del cuerpo, por lo que las propiedades elásticas son las mismas en cualquier punto del cuerpo. Sin embargo, nótese que en la realidad las propiedades no son las mismas en todas las direcciones para que el material sea homogéneo, por ejemplo, el módulo de elasticidad podría ser diferente en las direcciones axial y transversal. Los materiales isotrópicos tienen las mismas propiedades elásticas en todas las direcciones. En consecuencia el material debe ser homogéneo e isotrópico para que las deformaciones laterales de un elemento sometido a un esfuerzo sean las mismas en cualquier punto.

Para un elemento sometido a esfuerzos de tracción, la deformación representa una reducción en el ancho (deformación negativa) y la deformación axial representa un

¹⁹<http://www.construaprende.com/docs/tesis/293-concreto-presforzado?start=6>

aumento en la longitud (deformación positiva). Para esfuerzos de compresión ocurre el caso contrario, la barra se acorta (deformación axial negativa) y, la sección se ensancha (deformación lateral positiva).

Al hablar de deformaciones laterales, necesariamente debemos hablar del llamado Módulo o coeficiente de Poisson (n), el mismo que se define como la relación, cambiada de signo, entre las deformaciones transversales y las longitudes correspondientes, en elementos que trabajan a compresión simple. Con tensiones normales de trabajo pueden tomarse para el hormigón el valor de $n = 0,20$, que aumenta con la tensión hasta alcanzar el valor 0,50 en las proximidades de rotura. En el acero, el coeficiente de Poisson vale = 0,25 a 0,35.²⁰

A partir del coeficiente de Poisson se define el módulo de deformación transversal del hormigón G_c , mediante la ecuación:

$$G_c = \frac{E_c}{2(1 + n)}$$

Donde E_c es el módulo de deformación longitudinal.

2.6 DEFORMACIONES PLÁSTICAS.

Las características de un material que le permiten soportar deformaciones superiores al límite elástico se conocen como plasticidad, es así como sobre la curva esfuerzo – deformación del hormigón se presenta una región elástica seguida de una región plástica. Si en el análisis de esfuerzo – deformación se considera el tiempo, se presentarían deformaciones adicionales durante largos periodos y se dicen que fluyen o escurren plásticamente, este fenómeno también llamado “Creep” puede manifestarse de diversas formas, en especial la deformación de la sección transversal del material que puede variar sus dimensiones.

²⁰ “Hormigón Armado”, 14ª Edición. Montoya – Meseguer. Capítulo 5, numeral 5.6. Coeficiente de Poisson

El flujo plástico es en general más importante a altas temperaturas que a temperaturas comunes, aunque el hormigón fluye ligeramente aun a temperatura atmosférica, por lo tanto, en ocasiones es necesario compensar efectos de flujo plástico en estructuras comunes, este fenómeno puede producir olas u ondulaciones en las calzadas de estructuras debido al colgamiento entre los apoyos, una solución es construir la cubierta con una curvatura hacia arriba (contra flecha) que constituye una deflexión inicial sobre la horizontal, de tal forma que cuando el flujo plástico ocurra, los claros tramos descienden a su posición o nivel horizontal.

2.7 DEFORMACIONES POR CONTRACCIÓN.

Las mezclas para hormigón normal contienen mayor cantidad de agua que la que se requiere para la hidratación del cemento. Esta agua libre se evapora con el tiempo, la velocidad y la terminación del secado dependen de la humedad, la temperatura ambiente, y del tamaño y forma del espécimen del hormigón. El secado del hormigón viene aparejado con una disminución en su volumen, ocurriendo este cambio con mayor velocidad al principio que al final.

De esta forma, la contracción del hormigón debida al secado y a cambios químicos depende solamente del tiempo y de las condiciones de humedad, pero no de los esfuerzos.

La magnitud de la deformación de contracción varía por muchos factores. Por un lado, si el hormigón es almacenado bajo el agua o bajo condiciones muy húmedas, la contracción puede ser cero. Puede haber expansiones para algunos tipos de agregados y cementos. Por otro lado, para una combinación de ciertos agregados y cemento, y con el hormigón almacenado bajo condiciones muy secas, puede esperarse una deformación grande del orden de 0.001.

La contracción del hormigón es algo proporcional a la cantidad de agua empleada en la mezcla. De aquí que si se quiere la contracción mínima, la relación agua cemento y la proporción de la pasta de cemento deberá mantenerse al mínimo.

La calidad de los agregados es también una consideración importante. Agregados más duros y densos de baja absorción y alto módulo de elasticidad expondrán una contracción menor. Hormigón que contenga piedra caliza dura tendrá una contracción menor que uno con granito, basalto, y arenisca de igual grado, aproximadamente en ese orden.

La cantidad de contracción varía ampliamente, dependiendo de las condiciones individuales.

Para propósitos de diseño, un valor promedio de deformación por contracción será de 0.0002 a 0.0006 para las mezclas usuales de hormigón empleadas en las construcciones preesforzadas.

El valor de la contracción depende además de las condiciones del ambiente.²¹

²¹ <http://www.construaprende.com/docs/tesis/293-concreto-presforzado?start=6>

CAPÍTULO III

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

3.1 ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS PROCEDENTES DE LA CIUDAD DE LATACUNGA, CANTERA “SAN RAMON” Y CEMENTO CHIMBORAZO.

AGREGADOS DE LA MINA DE “SAN RAMON” – CIUDAD DE LATACUNGA”

Introducción.

La investigación realizada se fundamenta en la elaboración de hormigones con agregados procedentes de la mina de “San Ramón”, ubicada en la Parroquia Rural de Francisco de Mulalo, Provincia de Cotopaxi y “Cemento Chimborazo”, con la finalidad de determinar sus características físicas y mecánicas, mediante ensayos normalizados realizados en el laboratorio de Ensayo de Materiales y Modelos de la Universidad Central del Ecuador.

El hormigón realizado en el laboratorio, nos permitió determinar el Módulo de Elasticidad, en base a la resistencia a la compresión, y con los resultados obtenidos ver si cumplen con los requisitos mínimos de calidad establecidas por las Normas Ecuatorianas de la Construcción “N.E.C” y por el American Concrete Institute “A.C.I.”



Fotografía N° 3.1 Visita a la mina “San Ramón”, Grupo de tesis

Origen de los Agregados.

Los agregados de esta mina son producto de la explotación a cielo abierto del material procedente de la zona, los mismos que son tamizados y distribuidos con un tamaño máximo de 1 pulgada.

Es muy importante realizar el análisis de los agregados, ya que gracias a estas propiedades podremos formar un hormigón de buenas características, si el análisis de los materiales es fallido el hormigón que formaremos no tendrá los requerimientos para el cual fue fabricado.

A estos agregados para su empleo en las dosificaciones se les realizó diversos tipos de ensayos para comprobar sus propiedades tanto físicas y mecánicas.



Fotografía N° 3.2 Materiales Empleados en la Investigación.

Descripción de la Mina de “San Ramón – Ciudad de Latacunga”.

La mina se encuentra localizada en la cuenca Latacunga-Ambato, ubicada inmediatamente al Sur, tiene una orientación rectilínea meridiana y un ancho equivalente de unos 20 Km de Este a Oeste. Está limitada por vertientes interandinas volcánicas y su fondo está constituido por la misma secuencia de formas volcano-sedimentarias: llanuras de esparcimiento laháricos del Cotopaxi al Norte, luego glaciares y niveles de

esparcimiento coluvio-aluviales moderadamente disectados y, por fi, rellenos lacustres horizontales en las partes central y baja.²²

Los trabajos de explotación se sintetizan en trabajos de campo, procesamiento y comercialización; actividades que dentro de esta evaluación han sido consideradas como un conjunto, y se ha visto su interacción y su grado de afectación sobre los diversos factores ambientales.

El material denominado de rechazo (piedra bola), de acuerdo a los requerimientos es sometido en cantidades parciales a un proceso de trituración y llevado a una granulometría aceptable convirtiéndolos en arena y ripio.

Cabe indicar que la zona denominada “San Francisco de Mulalo” es considerada como un sector minero, abastecedor de material de construcción para Latacunga, se encuentran laborando alrededor de 5 canteras, todas las cuales tienen similares relaciones de explotación y comercialización de los agregados.

CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO TIPO 1P “CHIMBORAZO”

Definición del Cemento Puzolánico Tipo 1P “Chimborazo”.

Al cemento se define como un material aglomerante que tiene propiedades de adherencia y cohesión, los mismos que permiten unir fragmentos minerales entre sí, para formar un todo compacto con resistencia y durabilidad adecuadas.

Hoy en día es una de las materias primas más populares y más indispensables, prácticamente no hay obra civil alguna que se puede emprender sin su concurso; es por excelencia el pegante más barato y más versátil, siendo sus propiedades físicas y mecánicas aprovechadas en multitud de usos. En lo que se refiere al tipo de cemento con el que se realizó esta investigación es el de tipo Cemento Portland Puzolánico 1P, mismo que es elaborado en la Fábrica Cemento Chimborazo C.A. (cuya presentación se la ve en

²² *Geografía Básica del Ecuador tomo IV, Volumen 2 Centro de Investigación Geográfica-Pag.420*

la ilustración), el cual satisface las especificaciones de las Normas Técnicas: NTE INEN 490: 2003 tercera revisión y la Norma Norteamericana ASTM C-595 para cemento 1P.²³



Fotografía N° 3.3 Cemento Chimborazo.¹⁹

Las ventajas que ofrece el cemento puzolánico 1P (Chimborazo) sobre el resto se detallan a continuación:

- Mayor durabilidad del cemento.
- Mejora en la resistencia frente al agua de mar.
- Mejor defensa ante los sulfatos y cloruros.
- Aumento en la resistencia a la compresión.
- Incremento de la impermeabilidad por la reducción de grietas en el fraguado.
- Disminución del calor de hidratación.
- Mejora en la resistencia a la abrasión.
- Aumento la resistencia del acero a la corrosión.

²³ *Fabrica Cemento Chimborazo – Departamento de Control de Calidad*

- Menor necesidad de agua.²⁴

Tabla N° 3.1 Requisitos que exigen las Normas INEN – NTE N° 490 para Cementos.

REQUISITOS DEL CEMENTO	
PARÁMETROS	NORMA 490 CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO
Requisitos Químicos	
Oxido de Magnesio (MgO) % máx.	6
Sulfato, reportado como (SO ₃) % máx.	4
Perdida por calcinación %	5
Requisitos Físicos	
Finura (cm ² /g)	*
Expansión en autoclave % máx.	0,80
Contracción en autoclave % máx.	0,20
Tiempo de Fraguado, Vicat	
Inicial Min. (minutos)	45
Inicial Max. (minutos)	420
Resistencia a la Compresión, Min. MPa.	
3 días	13
7 días	20
28 días	25
1 MPa = 10,1972 Kg/cm ²	
Expansión en mortero, % Max.	
14 días	0,020
8 semanas	0,060
Resistencia a los Sulfatos, % Max.	
Expansión a 180 días	0,10

²⁴ <http://ferreteriadongoyo.com/index.php/cemento>

Ubicación.

Fotografía N° 3.4 Mapa Físico – Político de la Provincia de Cotopaxi.²⁵

Limita al Norte con el Río Saquimala; al Sur con la Parroquia Rural de San Francisco de Mulaló; al Este con la Quebrada de San Diego y el Páramo Ticatilín, y al Oeste con el Camino Real y el Barrio de Lasso.

²⁵ <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/1570/1/T-ESPE-025046.pdf>

Datos de Graficación

La Mina “San Ramón”, perteneciente al Sr Raúl Reinoso, tiene una superficie de explotación de 4 Ha, y esta se encuentra ubicada en el barrio San Ramón, en las coordenadas N771088 E9916753 de proyección cartográfica UTM y Datum WGS84 sobre los 3100 m.s.n.m.

Esta mina se encuentra en una zona cercana al parque Nacional Cotopaxi, presenta un clima frío, con temperaturas que van desde los 7 grados hasta los 14 grados centígrados.

Las coordenadas geográficas de la mina son las siguientes:

- 0°44'11.44"S

- 78°33'33.28"W

La zona tiene vegetación de pajonal, suelos jóvenes, localizados en profundos depósitos minerales no consolidados, y áreas de dunas de arena.

Mediante siembra de coníferas (pino radiata), se tiene un bosque de varias hectáreas.

La explotación de los agregados en esta mina se encuentra entre 200 a 500 m³ diarios; existen además, dos sitios más de explotación minera, que se encuentran a los alrededores del barrio San Ramón. Principalmente en la parte norte de la parroquia con la explotación de piedra pómez (chasqui) y material pétreo (piedra, arena, ripio) del sedimento de las erupciones del volcán Cotopaxi.

Los productos que ofrecen las diferentes minas de la zona son grava, polvo de piedra (macadán) y piedra bola, en algunas otras minas comercializan material triturado. La cobertura de estos materiales es para toda la zona de Cotopaxi, y algunas otras partes cercanas a Machachi y Salcedo.



Fotografía N° 3.5 Ubicación de la Mina “San Ramón”, Google Earth.

Geología Local.

La zona en estudio se encuentra localizada en la parte central de la sierra Ecuatoriana. En las estribaciones de la cordillera de los andes. Está limitada por vertientes interandinas volcánicas y su fondo está constituido por la misma secuencia de formas volcano-sedimentarias: llanuras de esparcimiento laháricos del Cotopaxi al Norte, luego glaciares y niveles de esparcimiento coluvio-aluviales moderadamente disectados y, por fin, rellenos lacustres horizontales en las partes central y baja.²⁶

Estratigrafía.

La zona de influencia se encuentra constituida por el Gpo. Cotopaxi (estrato- volcanes) y por Cangagua, los mismos que se encuentran en la era cuaternaria en el período Holoceno, conformadas por lavas andesíticas, piroclásticas, pómez, rocas volcánicas y por rocas sedimentarias.

²⁶ *Geografía Básica del Ecuador tomo IV, Volumen 2 Centro de Investigación Geográfica-Pag.420*

Explotación de la Mina.

Para la obtención del material, el método de extracción es mediante excavación a cielo abierto, el cual pasa a un sistema de tamizado, donde se separa el agregado fino y el agregado grueso con un tamaño nominal máximo de 1''. El resto de material grueso es sometido a un mecanismo de trituración.

Para el proceso de los trabajos en la cantera se tienen los equipos y maquinarias siguientes:

- Dos tractores de oruga
- Dos cargadoras frontales de 2 1/2 yardas de cuchara
- Cuatro volquetas de 8 metros cúbicos
- Dos zarandas fijas de varios metros de largo

Capacidad de Venta o Consumo: 45 metros cúbicos por día.

Porcentaje de Producción: 60% de ripio y 40% de arena.

Instalaciones:

- Campamento (oficina, baños, bodegas, cocina)
- Caseta para guardianía.
- Talleres mecánicos
- Infraestructura (agua, luz, teléfono)
- Caminos y zonas para escombros

3.3 ENSAYOS DE LOS AGREGADOS.

3.3.1 Ensayos de Abrasión.

La resistencia a la abrasión, desgaste, o dureza de un agregado, es una propiedad que depende principalmente de las características de la roca madre. Este factor cobra importancia cuando las partículas van a estar sometidas a un roce continuo como es el caso de pisos y pavimentos, para lo cual los agregados que se utilizan deben estar duros.²⁷

Para determinar la resistencia del agregado se hace actuar una carga abrasiva sobre la muestra del material que se desea analizar. La carga abrasiva la proveerán unas esferas metálicas estandarizadas que al interactuar con la muestra del material dentro de la máquina de los ángeles alteraran su composición granulométrica triturando el material, como resultado se obtendrá una pérdida de material con respecto a su masa inicial que determinará la calidad del mismo ante el desgaste o abrasión.²⁸

La resistencia a la abrasión se usa generalmente como un índice de calidad del agregado grueso (ripio), ya que proporciona cierta indicación de la capacidad de éstos para producir hormigones resistentes.

La evaluación de la resistencia a la abrasión se realiza a partir del incremento en material fino que se produce por el efecto de golpeo con la carga abrasiva dentro del tambor cilíndrico de la Máquina de los ángeles²⁹

La realización de este ensayo se efectúa de acuerdo a las normas INEN 860 Y 861 ó ASTM C -131 y C-535.

²⁷ <http://es.scribd.com/doc/7539254/Laboratorio-N3ENSAYO-DE-CALIDAD-DE-LOS-AGREGADOS>

²⁸ http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/henaine_d_m/capitulo2.pdf

²⁹ <http://www.galeon.com/matcon/lab02/abrasion.htm>

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYO DE ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO (RIPIO)

NORMA: NTE INEN 0861:83 (ASTM C-131)

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 24/10/2012

ENSAYO N°: 01

Tabla N° 3.2 Pesos Retenidos.

GRADUACIÓN A

Tamiz N° (")	PESOS RETENIDOS	UNIDAD
1	1250	kg
3/4	1250	kg
1/2	1250	kg
3/8	1250	kg
TOTAL	5000	kg

Tabla N° 3.3 Resultado del Ensayo de Abrasión.

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa inicial	5000.00	g
2	Retenido Tamiz N° 12 después de 100 revoluciones	4593.20	g
3	Perdida después de 100 revoluciones	406.80	g
4	Porcentaje de pérdida después de 100 revoluciones	8.14	%
5	Retenido Tamiz N° 12 después de 500 revoluciones	3216.20	g
6	Perdida después de 500 revoluciones	1783.80	g
7	Porcentaje de pérdida después de 500 revoluciones	35.68	%
8	Coefficiente de Uniformidad	0.23	

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYO DE ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO (RIPIO)

NORMA: NTE INEN 0861:83 (ASTM C-131)

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 24/10/2012

ENSAYO N°: 02

Tabla N° 3.4 Pesos Retenidos.

GRADUACIÓN A

Tamiz N° (")	PESOS RETENIDOS	UNIDAD
1	1250	kg
3/4	1250	kg
1/2	1250	kg
3/8	1250	kg
TOTAL	5000	kg

Tabla N° 3.5 Resultado del Ensayo de Abrasión.

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa inicial	5000.00	g
2	Retenido Tamiz N° 12 después de 100 revoluciones	4652.00	g
3	Perdida después de 100 revoluciones	348.00	g
4	Perdida después de 100 revoluciones	6.96	%
5	Retenido Tamiz N° 12 después de 500 revoluciones	3287.20	g
6	Perdida después de 500 revoluciones	1712.80	g
7	Porcentaje de pérdida después de 500 revoluciones	34.26	%
8	Coefficiente de Uniformidad	0.20	

3.3.2 Ensayo de Colorimetría.

En los agregados finos naturales a veces se presentan impurezas orgánicas, las cuales menoscaban la hidratación del cemento y el desarrollo consecuente de la resistencia del hormigón, por esto es muy importante controlar el contenido de materia orgánica de una arena. Normalmente esas impurezas se evitan por medio del despejado adecuado del depósito, para eliminar por completo la tierra vegetal, y un enérgico lavado en la arena. La detección del contenido orgánico en la arena se lleva a cabo con facilidad por medio de este ensayo con hidróxido de sodio, que detalla la norma INEN 855 ó ASTM C 40 “Agregados para hormigón. “Determinación del contenido orgánico en los agregados finos”.



FIGURA N° 3.6 Propiedades de los Agregados Según su Color

Tabla N° 3.6 Propiedades de los Agregados Según su Color

FIG.	COLOR	PROPIEDADES
1	Blanco claro a transparente	Arena de muy buena calidad por no contener materia orgánica, limos o arcillas.
2	Amarillo pálido	Arena de poca presencia de materia orgánica, limos o arcillas. Se considera de buena calidad
3	Amarillo encendido	Contiene materia orgánica en alta cantidades. Puede usarse en hormigones de baja resistencia.
4	Café	Contiene materia orgánica en concentraciones muy elevadas. Se considera de mala calidad.
5	Café chocolate	Arena de muy mala calidad.

ENSAYO DE COLORIMETRÍA – AGREGADO FINO (ARENA)

NORMA: NTE INEN 0855:2010 1R (ASTM C – 40)

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 25/10/2012

ENSAYO N°: 01

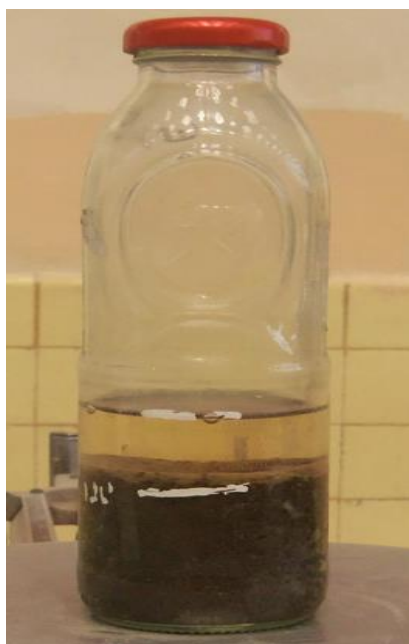


FIGURA N° 3.7 Resultado de la Colorimetría

Tabla N° 3.7 Resultado del Ensayo de Colorimetría.

FIG.	COLOR	PROPIEDADES
1	Blanco claro a transparente	Arena de muy buena calidad por no contener materia orgánica, limos o arcillas.

3.3.3 Densidad Real (peso específico).- Densidad en Estado Saturado con Superficie Seca (S.S.S.) ³⁰

El peso es una propiedad física de los agregados y está definida por la relación entre el peso y el volumen de una masa determinada, lo que significa que depende directamente de las características del grano de agregado.

El peso Densidad Real o peso específico (Densidad S.S.S) de los agregados es la relación entre la masa en el aire de un volumen dado de agregado, incluyendo la masa del agua dentro de los poros saturables, (después de la inmersión en agua durante aproximadamente 24 horas), pero sin incluir los vacíos entre las partículas, comparado con la masa de un volumen igual de agua destilada libre de gas a una temperatura establecida.

La determinación de esta densidad está basada principalmente en la determinación del volumen del agregado, para lo cual se aplica el principio físico de Arquímedes (287-212 A.C.) que afirma que:

“Un cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido en reposo, recibe un empuje de abajo hacia arriba igual al peso del volumen del fluido que desaloja”³¹

Si bien es cierto la densidad en estado S.S.S de los agregados solo se la puede conseguir en el laboratorio, el método de ensayo para su determinación está establecido de acuerdo a los procedimientos descritos en las normas NTE INEN 0856:83 y 0857:83 ó ASTM C- 127 y C-128 (para agregados finos y gruesos respectivamente).

Este factor es muy importante para el diseño de mezclas del hormigón, ya que su valor depende fundamentalmente de los componentes minerales y de la porosidad de los agregados.

³⁰ http://www.construaprende.com/Lab/17/Prac17_1.html

³¹ http://es.wikipedia.org/wiki/Principio_de_Arqu%C3%ADmedes

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS

NORMA: NTE INEN 0856:83 y 0857:83 (ASTM C – 127 y C – 128)

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 07/11/2012

ENSAYO N°: 01

Tabla N° 3.8 Resultado del Ensayo de Peso Específico.

AGREGADO GRUESO (RIPIO)

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa del recipiente + ripio en SSS	1876.00	g
2	Masa del recipiente	292.70	g
3	Masa del ripio en SSS	1583.30	g
4	Masa de la canastilla sumergida en agua	1650.00	g
5	Masa de la canastilla + ripio sumergida en agua	2584.00	g
6	Masa del ripio en agua	934.00	g
7	Volumen desalojado	649.30	cm ³
8	Peso Específico	2.44	g/cm³

Tabla N° 3.9 Resultado del Ensayo de Peso Específico.

AGREGADO FINO (ARENA)

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa del picnómetro + arena en SSS	361.90	G
2	Masa del picnómetro	172.10	G
3	Masa de la arena en SSS	189.80	G
4	Masa del picnómetro calibrado	670.70	G
5	Masa del picnómetro + arena en SSS + agua	785.80	G
6	Volumen desalojado	74.91	cm ³
7	Peso Específico	2.53	g/cm³

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS

NORMA: NTE INEN 0856:83 y 0857:83 (ASTM C – 127 y C – 128)

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 07/11/2012

ENSAYO N°: 02

Tabla N° 3.10 Resultado del Ensayo de Peso Específico.

AGREGADO GRUESO (RIPIO)

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa del recipiente + ripio en SSS	3415.00	g
2	Masa del recipiente	292.70	g
3	Masa del ripio en SSS	3122.30	g
4	Masa de la canastilla sumergida en agua	1650.00	g
5	Masa de la canastilla + ripio sumergida en agua	3510.00	g
6	Masa del ripio en agua	1860.00	g
7	Volumen desalojado	1262.30	cm ³
8	Peso Específico	2.47	g/cm³

Tabla N° 3.11 Resultado del Ensayo de Peso Específico.

AGREGADO FINO (ARENA)

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa del picnómetro + arena en SSS	390.80	g
2	Masa del picnómetro	173.70	g
3	Masa de la arena en SSS	217.10	g
4	Masa del picnómetro calibrado	671.90	g
5	Masa del picnómetro + arena en SSS + agua	802.90	g
6	Volumen desalojado	86.41	cm ³
7	Peso Específico	2.51	g/cm³

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS

NORMA: NTE INEN 0856:83 y 0857:83 (ASTM C – 127 y C – 128)

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 07/11/2012

ENSAYO N°: 03

Tabla N° 3.12 Resultado del Ensayo de Peso Específico.

AGREGADO GRUESO (RIPIO)

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa del recipiente + ripio en SSS	1865.00	g
2	Masa del recipiente	292.70	g
3	Masa del ripio en SSS	1572.30	g
4	Masa de la canastilla sumergida en agua	1650.00	g
5	Masa de la canastilla + ripio sumergida en agua	2583.00	g
6	Masa del ripio en agua	933.00	g
7	Volumen desalojado	639.30	cm ³
8	Peso Específico	2.46	g/cm³

Tabla N° 3.13 Resultado del Ensayo de Peso Específico.

AGREGADO FINO (ARENA)

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa del picnómetro + arena en SSS	360.80	g
2	Masa del picnómetro	173.70	g
3	Masa de la arena en SSS	187.10	g
4	Masa del picnómetro calibrado	672.10	g
5	Masa del picnómetro + arena en SSS + agua	785.20	g
6	Volumen desalojado	74.24	cm ³
7	Peso Específico	2.52	g/cm³

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS

NORMA: NTE INEN 0856:83 y 0857:83 (ASTM C – 127 y C – 128)

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 07/11/2012

ENSAYO N°: 04

Tabla N° 3.14 Resultado del Ensayo de Peso Específico.

AGREGADO GRUESO (RIPIO)

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa del recipiente + ripio en SSS	1564.00	g
2	Masa del recipiente	292.70	g
3	Masa del ripio en SSS	1271.30	g
4	Masa de la canastilla sumergida en agua	1650.00	g
5	Masa de la canastilla + ripio sumergida en agua	2400.00	g
6	Masa del ripio en agua	750.00	g
7	Volumen desalojado	521.30	cm ³
8	Peso Específico	2.44	g/cm³

Tabla N° 3.15 Resultado del Ensayo de Peso Específico.

AGREGADO FINO (ARENA)

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa del picnómetro + arena en SSS	410.10	g
2	Masa del picnómetro	159.00	g
3	Masa de la arena en SSS	251.10	g
4	Masa del picnómetro calibrado	657.50	g
5	Masa del picnómetro + arena en SSS + agua	809.50	g
6	Volumen desalojado	99.40	cm ³
7	Peso Específico	2.53	g/cm³

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS

NORMA: NTE INEN 0856:83 y 0857:83 (ASTM C – 127 y C – 128)

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 07/11/2012

ENSAYO N°: 05

Tabla N° 3.16 Resultado del Ensayo de Peso Específico.

AGREGADO GRUESO (RIPIO)

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa del recipiente + ripio en SSS	2193.00	g
2	Masa del recipiente	292.70	g
3	Masa del ripio en SSS	1900.30	g
4	Masa de la canastilla sumergida en agua	1650.00	g
5	Masa de la canastilla + ripio sumergida en agua	2780.00	g
6	Masa del ripio en agua	1130.00	g
7	Volumen desalojado	770.30	cm ³
8	Peso Específico	2.47	g/cm³

Tabla N° 3.17 Resultado del Ensayo de Peso Específico.

AGREGADO FINO (ARENA)

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa del picnómetro + arena en SSS	328.90	g
2	Masa del picnómetro	159.00	g
3	Masa de la arena en SSS	169.90	g
4	Masa del picnómetro calibrado	657.50	g
5	Masa del picnómetro + arena en SSS + agua	760.50	g
6	Volumen desalojado	67.10	cm ³
7	Peso Específico	2.53	g/cm³

3.3.4 Capacidad de Absorción.

La absorción en los agregados, es el incremento en la masa del agregado debido al agua en los poros del material, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresado como un porcentaje de la masa seca. El agregado se considera como "seco" cuando se ha mantenido a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por suficiente tiempo para remover toda el agua no combinada.³²

Básicamente consiste en sumergir la muestra durante 24 horas luego de lo cual se saca y se lleva a la condición de densidad aparente (SSS); obtenida esta condición, se pesa e inmediatamente se seca en un horno y la diferencia de pesos, expresado como un porcentaje de peso de la muestra seca, es la capacidad de absorción.

La cantidad de agua absorbida estima la porosidad de las partículas de agregado. Conocer la cantidad de agua que puede ser alojada por el agregado siempre resulta de mucha utilidad, en ocasiones se emplea como un valor que se especifica para aprobar o rechazar el agregado en una cierta aplicación.

La absorción está relacionado con:

- La finura de los agregados
- La rugosidad de la superficie
- La cantidad de poros accesibles
- Afinidad del material con el agua

El ensayo se realiza de acuerdo a la norma NTE INEN 0856:83 y 0857:83 (ASTM C – 70).

³²<http://es.scribd.com/doc/49092071/capacidad-de-absorcion>

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYO DE CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS

NORMA: NTE INEN 0856:83 y 0857:83 (ASTM C – 70)

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 08/11/2012

ENSAYO N°: 01

Tabla N° 3.18 Resultado del Ensayo de Capacidad de Absorción.

AGREGADO GRUESO (RIPIO)

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa del recipiente+ ripio en SSS	775.50	g
2	Masa del recipiente + ripio seco	758.80	g
3	Masa del recipiente	128.40	g
4	Masa de agua	16.70	g
5	Masa del ripio seco	630.40	g
6	Capacidad de Absorción	2.65	%

Tabla N° 3.19 Resultado del Ensayo de Capacidad de Absorción.

AGREGADO FINO (ARENA)

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa de arena SSS + recipiente	313.40	g
2	Masa del recipiente + arena seca	311.70	g
3	Masa del Recipiente	56.30	g
4	Masa de agua	1.70	g
5	Masa de arena seca	255.40	g
6	Capacidad de Absorción	0.67	%



ENSAYO DE CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS

NORMA: NTE INEN 0856:83 y 0857:83 (ASTM C – 70)

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 08/11/2012

ENSAYO N°: 02

Tabla N° 3.20 Resultado del Ensayo de Capacidad de Absorción.

AGREGADO GRUESO (RIPIO)

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa del recipiente+ ripio en SSS	713.30	g
2	Masa del recipiente + ripio seco	696.40	g
3	Masa del recipiente	61.50	g
4	Masa de agua	16.90	g
5	Masa del ripio seco	634.90	g
6	Capacidad de Absorción	2.66	%

Tabla N° 3.21 Resultado del Ensayo de Capacidad de Absorción.

AGREGADO FINO (ARENA)

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa de arena SSS + recipiente	633.40	g
2	Masa del recipiente + arena seca	629.60	g
3	Masa del Recipiente	79.70	g
4	Masa de agua	3.80	g
5	Masa de arena seca	549.90	g
6	Capacidad de Absorción	0.69	%

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYO DE CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS

NORMA: NTE INEN 0856:83 y 0857:83 (ASTM C – 70)

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 08/11/2012

ENSAYO N°: 03

Tabla N° 3.22 Resultado del Ensayo de Capacidad de Absorción.

AGREGADO GRUESO (RIPIO)

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa del recipiente+ ripio en SSS	829.60	g
2	Masa del recipiente + ripio seco	811.80	g
3	Masa del recipiente	137.10	g
4	Masa de agua	17.80	g
5	Masa del ripio seco	674.70	g
6	Capacidad de Absorción	2.64	%

Tabla N° 3.23 Resultado del Ensayo de Capacidad de Absorción.

AGREGADO FINO (ARENA)

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa de arena SSS + recipiente	398.80	g
2	Masa del recipiente + arena seca	396.70	g
3	Masa del Recipiente	70.50	g
4	Masa de agua	2.10	g
5	Masa de arena seca	326.20	g
6	Capacidad de Absorción	0.64	%

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYO DE CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS

NORMA: NTE INEN 0856:83 y 0857:83 (ASTM C – 70)

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 08/11/2012

ENSAYO N°: 04

Tabla N° 3.24 Resultado del Ensayo de Capacidad de Absorción.

AGREGADO GRUESO (RIPIO)

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa del recipiente+ ripio en SSS	904.60	g
2	Masa del recipiente + ripio seco	884.60	g
3	Masa del recipiente	129.20	g
4	Masa de agua	20.00	g
5	Masa del ripio seco	755.40	g
6	Capacidad de Absorción	2.65	%

Tabla N° 3.25 Resultado del Ensayo de Capacidad de Absorción.

AGREGADO FINO (ARENA)

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa de arena SSS + recipiente	407.30	g
2	Masa del recipiente + arena seca	405.50	g
3	Masa del Recipiente	137.10	g
4	Masa de agua	1.80	g
5	Masa de arena seca	268.40	g
6	Capacidad de Absorción	0.67	%

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYO DE CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS

NORMA: NTE INEN 0856:83 y 0857:83 (ASTM C – 70)

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 08/11/2012

ENSAYO N°: 05

Tabla N° 3.26 Resultado del Ensayo de Capacidad de Absorción.

AGREGADO GRUESO (RIPIO)

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa del recipiente+ ripio en SSS	771.60	g
2	Masa del recipiente + ripio seco	755.10	g
3	Masa del recipiente	129.50	g
4	Masa de agua	16.50	g
5	Masa del ripio seco	625.60	g
6	Capacidad de Absorción	2.64	%

Tabla N° 3.27 Resultado del Ensayo de Capacidad de Absorción.

AGREGADO FINO (ARENA)

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa de arena SSS + recipiente	346.60	g
2	Masa del recipiente + arena seca	344.90	g
3	Masa del Recipiente	78.80	g
4	Masa de agua	1.70	g
5	Masa de arena seca	266.10	g
6	Capacidad de Absorción	0.64	%

3.3.5 Contenido de Humedad.

El contenido de humedad de un agregado, es la cantidad de agua que necesita para pasar de un estado seco al horno a su estado de humedad natural. Generalmente se expresa en un porcentaje relacionado con la masa total de la muestra de agregados.

Los agregados pueden tener algún grado de humedad lo cual está directamente relacionado con la porosidad de las partículas. La porosidad depende a su vez del tamaño de los poros, su permeabilidad y la cantidad o volumen total de poros.

Las partículas de agregado pueden pasar por cuatro estados, los cuales se describen a continuación:

Totalmente seco. Se logra mediante un secado al horno a 110°C hasta que los agregados tengan un peso constante. (Generalmente 24 horas).

Parcialmente seco. Se logra mediante exposición al aire libre.

Saturado y Superficialmente seco. (SSS). En un estado límite en el que los agregados tienen todos sus poros llenos de agua pero superficialmente se encuentran secos. Este estado sólo se logra en el laboratorio.

Totalmente Húmedo. Todos los agregados están llenos de agua y además existe agua libre superficial.³³

También existe la humedad libre donde se refiere a la película superficial de agua que rodea al agregado: la humedad libre es igual a la diferencia entre la humedad total y la absorción del agregado, donde la humedad total es aquella que se define como la cantidad total que posee un agregado. Cuando la humedad libre es positiva se dice que el agregado está aportando agua a la mezcla, para el diseño de mezclas es importante saber esta propiedad, y cuando la humedad es negativa se dice que el agregado está quitando agua a la mezcla.

El ensayo se realiza de acuerdo a la norma NTE INEN 0862:83 (ASTM C – 566).

³³ <http://es.scribd.com/doc/59315209/CONTENIDO-DE-HUMEDAD-01>

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

NORMA: NTE INEN 0862:83 (ASTM C – 566)

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 12/10/2011

ENSAYO N°: 01

Tabla N° 3.28 Resultado del Ensayo de Contenido de Humedad.

AGREGADO GRUESO (RIPIO)

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa del recipiente+ ripio húmedo	1570.90	g
2	Masa del recipiente + ripio seco	1540.50	g
3	Masa del recipiente	132.50	g
4	Masa de agua	30.40	g
5	Masa del ripio seco	1408.00	g
6	Porcentaje de Humedad	2.16	%

Tabla N° 3.29 Resultado del Ensayo de Contenido de Humedad.

AGREGADO FINO (ARENA)

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa del recipiente+ ripio húmedo	991.60	g
2	Masa del recipiente + ripio seco	955.90	g
3	Masa del recipiente	115.20	g
4	Masa de agua	35.70	g
5	Masa del ripio seco	840.70	g
6	Porcentaje de Humedad	4.25	%

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

NORMA: NTE INEN 0862:83 (ASTM C – 566)

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 12/10/2011

ENSAYO N°: 02

Tabla N° 3.30 Resultado del Ensayo de Contenido de Humedad.

AGREGADO GRUESO (RIPIO)

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa del recipiente+ ripio húmedo	1536.60	g
2	Masa del recipiente + ripio seco	1505.80	g
3	Masa del recipiente	133.70	g
4	Masa de agua	30.80	g
5	Masa del ripio seco	1372.10	g
6	Porcentaje de Humedad	2.24	%

Tabla N° 3.31 Resultado del Ensayo de Contenido de Humedad.

AGREGADO FINO (ARENA)

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa del recipiente+ ripio húmedo	972.20	g
2	Masa del recipiente + ripio seco	938.70	g
3	Masa del recipiente	131.80	g
4	Masa de agua	33.50	g
5	Masa del ripio seco	806.90	g
6	Porcentaje de Humedad	4.15	%

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

NORMA: NTE INEN 0862:83 (ASTM C – 566)

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 12/10/2011

ENSAYO N°: 03

Tabla N° 3.32 Resultado del Ensayo de Contenido de Humedad.

AGREGADO GRUESO (RIPIO)

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa del recipiente+ ripio húmedo	1545.00	g
2	Masa del recipiente + ripio seco	1517.20	g
3	Masa del recipiente	134.10	g
4	Masa de agua	27.80	g
5	Masa del ripio seco	1383.10	g
6	Porcentaje de Humedad	2.01	%

Tabla N° 3.33 Resultado del Ensayo de Contenido de Humedad.

AGREGADO FINO (ARENA)

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa del recipiente+ ripio húmedo	661.90	g
2	Masa del recipiente + ripio seco	639.90	g
3	Masa del recipiente	134.00	g
4	Masa de agua	22.00	g
5	Masa del ripio seco	505.90	g
6	Porcentaje de Humedad	4.35	%

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

NORMA: NTE INEN 0862:83 (ASTM C – 566)

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 12/10/2011

ENSAYO N°: 04

Tabla N° 3.34 Resultado del Ensayo de Contenido de Humedad.

AGREGADO GRUESO (RIPIO)

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa del recipiente+ ripio húmedo	1734.40	g
2	Masa del recipiente + ripio seco	1697.60	g
3	Masa del recipiente	130.40	g
4	Masa de agua	36.80	g
5	Masa del ripio seco	1567.20	g
6	Porcentaje de Humedad	2.35	%

Tabla N° 3.35 Resultado del Ensayo de Contenido de Humedad.

AGREGADO FINO (ARENA)

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa del recipiente+ ripio húmedo	603.10	g
2	Masa del recipiente + ripio seco	584.40	g
3	Masa del recipiente	127.20	g
4	Masa de agua	18.70	g
5	Masa del ripio seco	457.20	g
6	Porcentaje de Humedad	4.09	%

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

NORMA: NTE INEN 0862:83 (ASTM C – 566)

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 12/10/2011

ENSAYO N°: 05

Tabla N° 3.36 Resultado del Ensayo de Contenido de Humedad.

AGREGADO GRUESO (RIPIO)

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa del recipiente+ ripio húmedo	1271.90	g
2	Masa del recipiente + ripio seco	1242.50	g
3	Masa del recipiente	129.60	g
4	Masa de agua	29.40	g
5	Masa del ripio seco	1112.90	g
6	Porcentaje de Humedad	2.64	%

Tabla N° 3.37 Resultado del Ensayo de Contenido de Humedad.

AGREGADO FINO (ARENA)

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa del recipiente+ ripio húmedo	895.30	g
2	Masa del recipiente + ripio seco	864.90	g
3	Masa del recipiente	126.10	g
4	Masa de agua	30.40	g
5	Masa del ripio seco	738.80	g
6	Porcentaje de Humedad	4.11	%

3.3.6 Densidad Aparente Suelta y Compactada.

La densidad aparente se define como la relación que existe entre la masa del material sobre el volumen del agregado seco y no perturbado, incluye los poros impermeables pero no incluye a los capilares o poros permeables.

El propósito de este método de ensayo es determinar la masa por unidad de volumen de una muestra de agregado, para conocer las características como: porosidad, grado de aireación, capacidad de infiltración. La masa de un agregado debe ser siempre relacionada con el volumen específico. La masa unitaria de un agregado debe ser conocida para seleccionar las proporciones adecuadas en el diseño de mezclas de hormigón.

La densidad de un cuerpo, depende del tipo de material que lo conforma, para que su masa ocupe un volumen determinado. Establecido este concepto podemos decir que la densidad aparente suelta de los agregados, la obtenemos cuando el material esta sin compactar, mientras que, si el material esta compactado y calculamos su densidad, a esta, se le denomina densidad aparente compactada.³⁴

La densidad aparente máxima se lo obtiene variando el porcentaje de agregado grueso y el complementario de agregado fino. El objetivo del ensayo de la densidad aparente máxima es obtener una mezcla de agregado grueso y fino que nos dé el valor máximo de masa unitaria con lo que tendremos una cantidad de vacíos mínima. Esto nos permitirá utilizar en la mezcla una menor cantidad de pasta.

La densidad óptima se la calcula reduciendo un 4% del porcentaje de finos obtenidos de la densidad máxima de la mezcla, con su respectivo aumento en porcentaje de agregado grueso.

El ensayo se realiza de acuerdo a la norma NTE INEN 0858:83 (ASTM C – 29).

³⁴ RAMIREZ, Rodrigo. *Módulo de Elasticidad del Hormigón. Tesis 2011 – Pág. 337*



ENSAYO DE DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO (RIPIO)

NORMA: NTE INEN 0858:83 (ASTM C – 29)

ENSAYO N°: 01

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 17/10/2012

Tabla N° 3.38 Resultado del Ensayo de la Densidad Apparente Suelta.

DENSIDAD APARENTE SUELTA		
Masa del recipiente vacío	9100	g
Volumen del recipiente vacío	14200	cm ³
Masa del recipiente + ripio suelto		
N° DE MUESTRAS	CANTIDAD	UNIDAD
1	28400	g
2	28000	g
3	28000	g
4	28400	g
5	28000	g
PROMEDIO	28160	g
DENSIDAD APARENTE	1.34	g/cm³

Tabla N° 3.39 Resultado del Ensayo de la Densidad Apparente Compactada.

DENSIDAD APARENTE COMPACTADA		
Masa del recipiente vacío	9100	g
Volumen del recipiente vacío	14200	cm ³
Masa del recipiente + ripio compactado		
N° DE MUESTRAS	CANTIDAD	UNIDAD
1	30200	g
2	30400	g
3	30300	g
4	30200	g
5	30000	g
PROMEDIO	30220	g
DENSIDAD APARENTE	1.49	g/cm³



ENSAYO DE DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO (RIPIO)

NORMA: NTE INEN 0858:83 (ASTM C – 29)

ENSAYO N°: 02

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 17/10/2012

Tabla N° 3.40 Resultado del Ensayo de la Densidad Apparente Suelta.

DENSIDAD APARENTE SUELTA		
Masa del recipiente vacío	9100	g
Volumen del recipiente vacío	14200	cm ³
Masa del recipiente + ripio suelto		
N° DE MUESTRAS	CANTIDAD	UNIDAD
1	28400	g
2	28000	g
3	28000	g
4	28400	g
5	28000	g
PROMEDIO	28160	g
DENSIDAD APARENTE	1.34	g/cm ³

Tabla N° 3.41 Resultado del Ensayo de la Densidad Apparente Compactada.

DENSIDAD APARENTE COMPACTADA		
Masa del recipiente vacío	9100	g
Volumen del recipiente vacío	14200	cm ³
Masa del recipiente + ripio compactado		
N° DE MUESTRAS	CANTIDAD	UNIDAD
1	29800	g
2	29800	g
3	29800	g
4	30000	g
5	30000	g
PROMEDIO	29880	g
DENSIDAD APARENTE	1.46	g/cm ³



ENSAYO DE DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO (RIPIO)

NORMA: NTE INEN 0858:83 (ASTM C – 29)

ENSAYO N°: 03

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 17/10/2012

Tabla N° 3.42 Resultado del Ensayo de la Densidad Apparente Suelta.

DENSIDAD APARENTE SUELTA		
Masa del recipiente vacío	9100	g
Volumen del recipiente vacío	14200	cm ³
Masa del recipiente + ripio suelto		
N° DE MUESTRAS	CANTIDAD	UNIDAD
1	28300	G
2	28200	G
3	28400	G
4	28200	G
5	28200	G
PROMEDIO	28260	G
DENSIDAD APARENTE	1.35	g/cm ³

Tabla N° 3.43 Resultado del Ensayo de la Densidad Apparente Compactada.

DENSIDAD APARENTE COMPACTADA		
Masa del recipiente vacío	9100	G
Volumen del recipiente vacío	14200	cm ³
Masa del recipiente + ripio compactado		
N° DE MUESTRAS	CANTIDAD	UNIDAD
1	30000	G
2	28800	G
3	30000	G
4	30000	G
5	30200	G
PROMEDIO	29800	G
DENSIDAD APARENTE	1.46	g/cm ³



ENSAYO DE DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO (RIPIO)

NORMA: NTE INEN 0858:83 (ASTM C – 29)

ENSAYO N°: 04

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 17/10/2012

Tabla N° 3.44 Resultado del Ensayo de la Densidad Apparente Suelta.

DENSIDAD APARENTE SUELTA		
Masa del recipiente vacío	9100	g
Volumen del recipiente vacío	14200	cm ³
Masa del recipiente + ripio suelto		
N° DE MUESTRAS	CANTIDAD	UNIDAD
1	28400	g
2	28400	g
3	28000	g
4	28200	g
5	28000	g
PROMEDIO	28200	g
DENSIDAD APARENTE	1.35	g/cm³

Tabla N° 3.45 Resultado del Ensayo de la Densidad Apparente Compactada.

DENSIDAD APARENTE COMPACTADA		
Masa del recipiente vacío	9100	g
Volumen del recipiente vacío	14200	cm ³
Masa del recipiente + ripio compactado		
N° DE MUESTRAS	CANTIDAD	UNIDAD
1	30000	g
2	30200	g
3	30000	g
4	29900	g
5	30000	g
PROMEDIO	30020	g
DENSIDAD APARENTE	1.47	g/cm³



ENSAYO DE DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO (RIPIO)

NORMA: NTE INEN 0858:83 (ASTM C – 29)

ENSAYO N°: 05

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 17/10/2012

Tabla N° 3.46 Resultado del Ensayo de la Densidad Apparente Suelta.

DENSIDAD APARENTE SUELTA		
Masa del recipiente vacío	9100	g
Volumen del recipiente vacío	14200	cm ³
Masa del recipiente + ripio suelto		
N° DE MUESTRAS	CANTIDAD	UNIDAD
1	28200	g
2	28200	g
3	28400	g
4	28200	g
5	28000	g
PROMEDIO	28200	g
DENSIDAD APARENTE	1.35	g/cm ³

Tabla N° 3.47 Resultado del Ensayo de la Densidad Apparente Compactada.

DENSIDAD APARENTE COMPACTADA		
Masa del recipiente vacío	9100	g
Volumen del recipiente vacío	14200	cm ³
Masa del recipiente + ripio compactado		
N° DE MUESTRAS	CANTIDAD	UNIDAD
1	30200	g
2	30000	g
3	30000	g
4	30200	g
5	30000	g
PROMEDIO	30080	g
DENSIDAD APARENTE	1.48	g/cm ³



ENSAYO DE DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL AGREGADO FINO (ARENA)

NORMA: NTE INEN 0858:83 (ASTM C – 29)

ENSAYO N°: 01

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 17/10/2012

Tabla N° 3.48 Resultado del Ensayo de la Densidad Apparente Suelta.

DENSIDAD APARENTE SUELTA		
Masa del recipiente vacío	1991	g
Volumen del recipiente vacío	2930	cm ³
Masa del recipiente + ripio suelto		
N° DE MUESTRAS	CANTIDAD	UNIDAD
1	6400	g
2	6400	g
3	6400	g
4	6400	g
5	6400	g
PROMEDIO	6400	g
DENSIDAD APARENTE	1.50	g/cm ³

Tabla N° 3.49 Resultado del Ensayo de la Densidad Apparente Compactada.

DENSIDAD APARENTE COMPACTADA		
Masa del recipiente vacío	1991	g
Volumen del recipiente vacío	2930	cm ³
Masa del recipiente + ripio compactado		
N° DE MUESTRAS	CANTIDAD	UNIDAD
1	6800	g
2	6800	g
3	6800	g
4	6800	g
5	6800	g
PROMEDIO	6800	g
DENSIDAD APARENTE	1.64	g/cm ³



ENSAYO DE DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL AGREGADO FINO (ARENA)

NORMA: NTE INEN 0858:83 (ASTM C – 29)

ENSAYO N°: 02

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 17/10/2012

Tabla N° 3.50 Resultado del Ensayo de la Densidad Apparente Suelta.

DENSIDAD APARENTE SUELTA		
Masa del recipiente vacío	1991	g
Volumen del recipiente vacío	2930	cm ³
Masa del recipiente + ripio suelto		
N° DE MUESTRAS	CANTIDAD	UNIDAD
1	6400	g
2	6400	g
3	6400	g
4	6400	g
5	6400	g
PROMEDIO	6400	g
DENSIDAD APARENTE	1.50	g/cm ³

Tabla N° 3.51 Resultado del Ensayo de la Densidad Apparente Compactada.

DENSIDAD APARENTE COMPACTADA		
Masa del recipiente vacío	1991	g
Volumen del recipiente vacío	2930	cm ³
Masa del recipiente + ripio compactado		
N° DE MUESTRAS	CANTIDAD	UNIDAD
1	6800	g
2	6800	g
3	6800	g
4	6800	g
5	6800	g
PROMEDIO	6800	g
DENSIDAD APARENTE	1.64	g/cm ³

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYO DE DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL AGREGADO FINO (ARENA)

NORMA: NTE INEN 0858:83 (ASTM C – 29)

ENSAYO N°: 03

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 17/10/2012

Tabla N° 3.52 Resultado del Ensayo de la Densidad Apparente Suelta.

DENSIDAD APARENTE SUELTA		
Masa del recipiente vacío	1991	g
Volumen del recipiente vacío	2930	cm ³
Masa del recipiente + ripio suelto		
N° DE MUESTRAS	CANTIDAD	UNIDAD
1	6400	G
2	6400	G
3	6400	G
4	6400	G
5	6400	G
PROMEDIO	6400	G
DENSIDAD APARENTE	1.50	g/cm ³

Tabla N° 3.53 Resultado del Ensayo de la Densidad Apparente Compactada.

DENSIDAD APARENTE COMPACTADA		
Masa del recipiente vacío	1991	G
Volumen del recipiente vacío	2930	cm ³
Masa del recipiente + ripio compactado		
N° DE MUESTRAS	CANTIDAD	UNIDAD
1	6800	G
2	6800	G
3	6800	G
4	6800	G
5	6800	G
PROMEDIO	6800	G
DENSIDAD APARENTE	1.64	g/cm ³

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYO DE DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL AGREGADO FINO (ARENA)

NORMA: NTE INEN 0858:83 (ASTM C – 29)

ENSAYO N°: 04

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 17/10/2012

Tabla N° 3.54 Resultado del Ensayo de la Densidad Apparente Suelta.

DENSIDAD APARENTE SUELTA		
Masa del recipiente vacío	1991	g
Volumen del recipiente vacío	2930	cm ³
Masa del recipiente + ripio suelto		
N° DE MUESTRAS	CANTIDAD	UNIDAD
1	6400	g
2	6400	g
3	6400	g
4	6400	g
5	6400	g
PROMEDIO	6400	g
DENSIDAD APARENTE	1.50	g/cm ³

Tabla N° 3.55 Resultado del Ensayo de la Densidad Apparente Compactada.

DENSIDAD APARENTE COMPACTADA		
Masa del recipiente vacío	1991	g
Volumen del recipiente vacío	2930	cm ³
Masa del recipiente + ripio compactado		
N° DE MUESTRAS	CANTIDAD	UNIDAD
1	6800	g
2	6800	g
3	6800	g
4	6800	g
5	6800	g
PROMEDIO	6800	g
DENSIDAD APARENTE	1.64	g/cm ³

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYO DE DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL AGREGADO FINO (ARENA)

NORMA: NTE INEN 0858:83 (ASTM C – 29)

ENSAYO N°: 05

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 17/10/2012

Tabla N° 3.56 Resultado del Ensayo de la Densidad Apparente Suelta.

DENSIDAD APARENTE SUELTA		
Masa del recipiente vacío	1991	g
Volumen del recipiente vacío	2930	cm ³
Masa del recipiente + ripio suelto		
N° DE MUESTRAS	CANTIDAD	UNIDAD
1	6400	g
2	6400	g
3	6400	g
4	6400	g
5	6400	g
PROMEDIO	6400	g
DENSIDAD APARENTE	1.50	g/cm ³

Tabla N° 3.57 Resultado del Ensayo de la Densidad Apparente Compactada.

DENSIDAD APARENTE COMPACTADA		
Masa del recipiente vacío	1991	g
Volumen del recipiente vacío	2930	cm ³
Masa del recipiente + ripio compactado		
N° DE MUESTRAS	CANTIDAD	UNIDAD
1	6800	g
2	6800	g
3	6800	g
4	6800	g
5	6800	g
PROMEDIO	6800	g
DENSIDAD APARENTE	1.64	g/cm ³

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYO DE DENSIDAD COMPACTADA ÓPTIMA DE LOS AGREGADOS

NORMA: NTE INEN 0858:83 (ASTM C – 29)

ENSAYO N°: 01

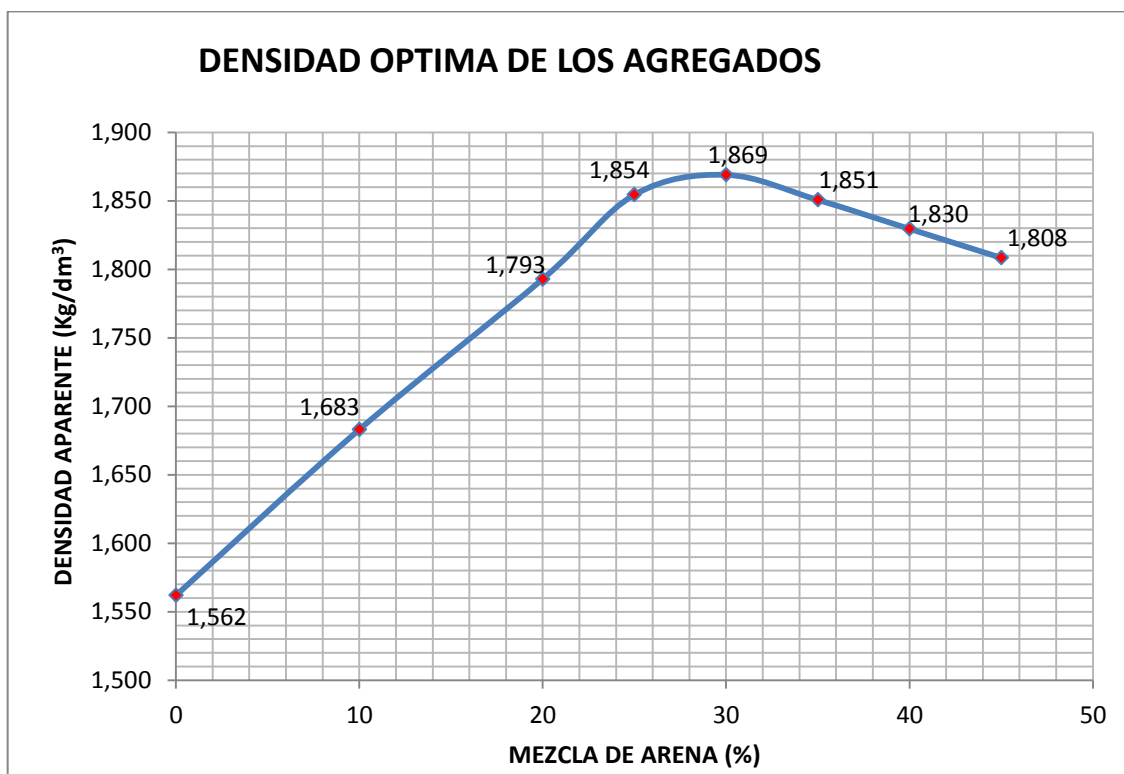
ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 19/10/2012

Tabla N° 3.58 Resultado del Ensayo de la Densidad Compactada Óptima.

DENSIDAD ÓPTIMA DE LOS AGREGADOS												
Masa del recipiente vacío										9100		g
Volumen del recipiente										14200		cm ³
MEZCLA (%)		MASA (kg)		AÑADIR ARENA (kg)	MASA DEL RECIPIENTE + MEZCLA (kg)					PROMED (g)	MASA DE LA MEZCLA (g)	DENSIDAD APARENT (kg/dm ³)
RIPIO	ARENA	RIPIO	ARENA									
100	0	40	0,00	0,00	31000	31400	31300	31300	31400	31280.00	22180.00	1.562
90	10	40	4.44	4.44	32900	33100	33000	32900	33100	33000.00	23900.00	1.683
80	20	40	10	5.56	34600	34500	34600	34600	34500	34560.00	25460.00	1.793
75	25	40	13.33	3.33	33,80	35500	35200	35600	33,80	35433.33	26333.33	1.854
70	30	40	17.14	3.81	35700	35600	35600	35700	35600	35640.00	26540.00	1.869
65	35	40	21.54	4.4	35300	35300	35500	35300	35500	35380.00	26280.00	1.851
60	40	40	26.67	5.13	35100	35000	35100	35000	35200	35080.00	25980.00	1.830
55	45	40	32.73	6.06	34800	34700	34800	34900	34700	34780.00	25680.00	1.808

CURVA DE DENSIDAD COMPACTADA ÓPTIMA DE LOS AGREGADOS



AGREGADOS	PORCENTAJE (%)	DENSIDAD MÁXIMA	% ÓPTIMA	DENSIDAD OPTIMA
ARENA	35	1.85	31	1.87
RIPIO	65		69	

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYO DE DENSIDAD COMPACTADA ÓPTIMA DE LOS AGREGADOS

NORMA: NTE INEN 0858:83 (ASTM C – 29)

ENSAYO N°: 02

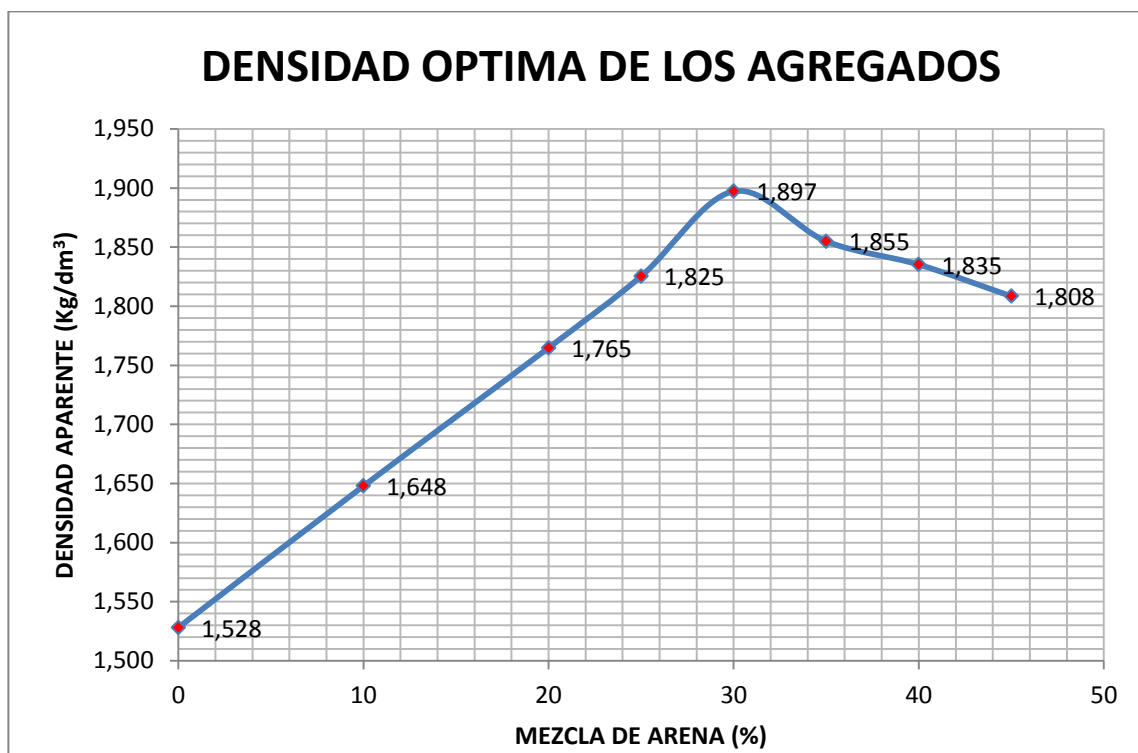
ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 19/10/2012

Tabla N° 3.59 Resultado del Ensayo de la Densidad Compactada Óptima.

DENSIDAD ÓPTIMA DE LOS AGREGADOS												
Masa del recipiente vacío					9100					g		
Volumen del recipiente					14200					cm ³		
MEZCLA (%)		MASA (kg)		AÑADIR ARENA (kg)	MASA DEL RECIPIENTE + MEZCLA (kg)					PROMED (g)	MASA DE LA MEZCLA (g)	DENSIDAD APARENT (kg/dm ³)
RIPIO	ARENA	RIPIO	ARENA									
100	0	40	0,00	0,00	30800	30600	31000	30600	31000	30800.00	21700.00	1.528
90	10	40	4.44	4.44	32600	32500	32400	32400	32600	32500.00	23400.00	1.648
80	20	40	10	5.56	34000	34200	34300	34200	34100	34160.00	25060.00	1.765
75	25	40	13.33	3.33	34900	35100	35100	35100	34900	35020.00	25920.00	1.825
70	30	40	17.14	3.81	36400	36400	36500	35600	35300	36040.00	26940.00	1.897
65	35	40	21.54	4.4	35400	35500	35600	35400	35300	35440.00	26340.00	1.855
60	40	40	26.67	5.13	35100	35200	35100	35100	35300	35160.00	26060.00	1.835
55	45	40	32.73	6.06	34800	34700	34900	34800	34700	34780.00	25680.00	1.808

CURVA DE DENSIDAD COMPACTADA ÓPTIMA DE LOS AGREGADOS



AGREGADOS	PORCENTAJE (%)	DENSIDAD MÁXIMA	% ÓPTIMA	DENSIDAD OPTIMA
ARENA	35	1.85	31	1.87
RIPIO	65		69	

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYO DE DENSIDAD COMPACTADA ÓPTIMA DE LOS AGREGADOS

NORMA: NTE INEN 0858:83 (ASTM C – 29)

ENSAYO N°: 03

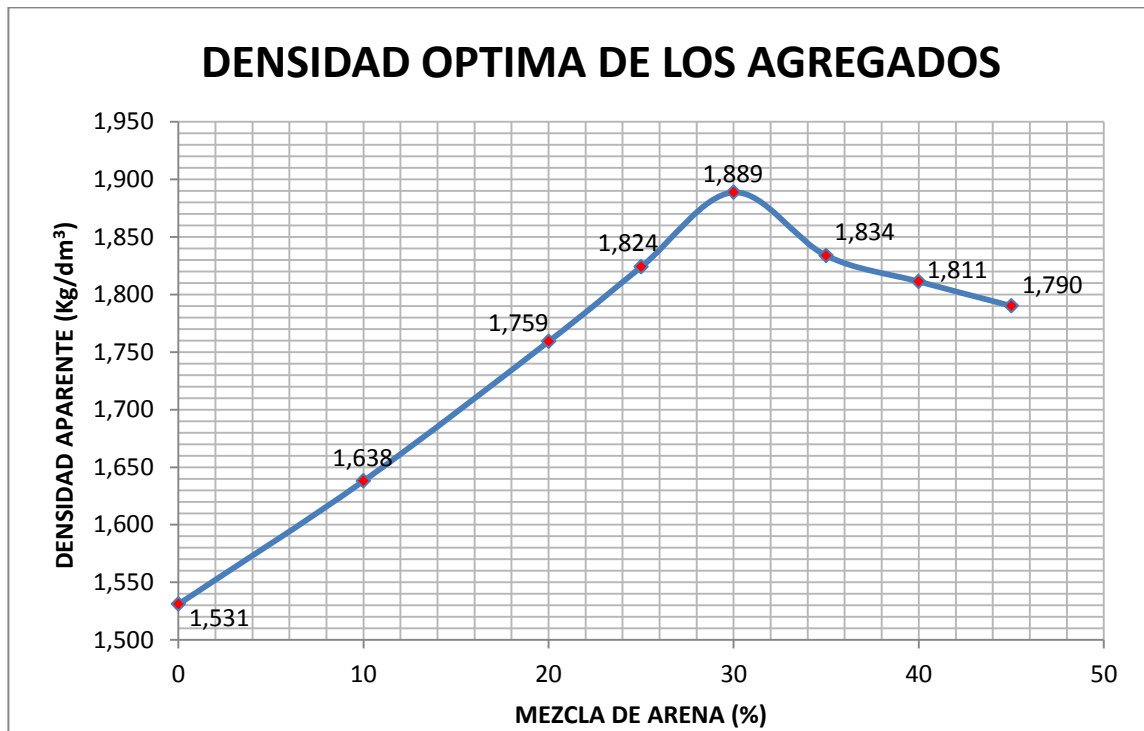
ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 24/10/2012

Tabla N° 3.60 Resultado del Ensayo de la Densidad Compactada Óptima.

DENSIDAD ÓPTIMA DE LOS AGREGADOS												
Masa del recipiente vacío										9100		G
Volumen del recipiente										14200		cm ³
MEZCLA (%)		MASA (kg)		AÑADIR ARENA (kg)	MASA DEL RECIPIENTE + MEZCLA (kg)					PROMED (g)	MASA DE LA MEZCLA (g)	DENSIDAD APARENT (kg/dm ³)
RIPIO	ARENA	RIPIO	ARENA									
100	0	40	0,00	0,00	30700	30800	31000	31000	30700	30840.00	21740.00	1.531
90	10	40	4.44	4.44	32600	32400	32200	32200	32400	32360.00	23260.00	1.638
80	20	40	10	5.56	34200	33800	34200	34000	34200	34080.00	24980.00	1.759
75	25	40	13.33	3.33	34900	35100	35000	34900	35100	35000.00	25900.00	1.824
70	30	40	17.14	3.81	35800	36000	35900	36000	35900	35920.00	26820.00	1.889
65	35	40	21.54	4.4	35000	35200	35200	35100	35200	35140.00	26040.00	1.834
60	40	40	26.67	5.13	34800	34700	34800	34900	34900	34820.00	25720.00	1.811
55	45	40	32.73	6.06	34600	34600	34500	34400	34500	34520.00	25420.00	1.790

CURVA DE DENSIDAD COMPACTADA ÓPTIMA DE LOS AGREGADOS



AGREGADOS	PORCENTAJE (%)	DENSIDAD MÁXIMA	% ÓPTIMA	DENSIDAD OPTIMA
ARENA	35	1.83	31	1.87
RIPIO	65		69	

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYO DE DENSIDAD COMPACTADA ÓPTIMA DE LOS AGREGADOS

NORMA: NTE INEN 0858:83 (ASTM C – 29)

ENSAYO N°: 04

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

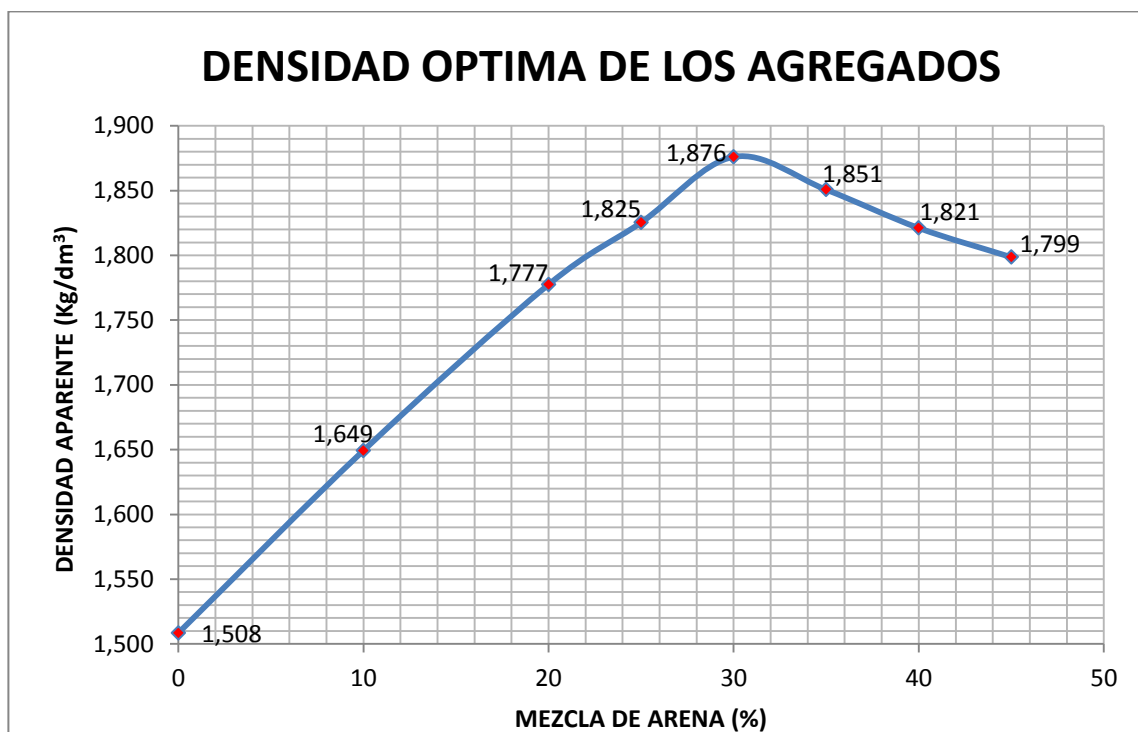
FECHA: Quito, 24/10/2012

Tabla N° 3.61 Resultado del Ensayo de la Densidad Compactada Óptima.

DENSIDAD ÓPTIMA DE LOS AGREGADOS												
Masa del recipiente vacío										9100		G
Volumen del recipiente										14200		cm ³
MEZCLA (%)		MASA (kg)		AÑADIR ARENA (kg)	MASA DEL RECIPIENTE + MEZCLA (kg)					PROMED (g)	MASA DE LA MEZCLA (g)	DENSIDAD APARENT (kg/dm ³)
RIPIO	ARENA	RIPIO	ARENA									
100	0	40	0,00	0,00	30600	30600	30400	30600	30400	30520.00	21420.00	1.508
90	10	40	4.44	4.44	32500	32600	32400	32600	32500	32520.00	23420.00	1.649
80	20	40	10	5.56	34300	34400	34300	34200	34500	34340.00	25240.00	1.777
75	25	40	13.33	3.33	35100	35000	35100	35000	34900	35020.00	25920.00	1.825
70	30	40	17.14	3.81	35800	35600	35900	35800	35600	35740.00	26640.00	1.876
65	35	40	21.54	4.4	35300	35600	35300	35400	35300	35380.00	26280.00	1.851
60	40	40	26.67	5.13	34900	34900	35000	35000	35000	34960.00	25860.00	1.821
55	45	40	32.73	6.06	34700	34600	34700	34600	34600	34640.00	25540.00	1.799



CURVA DE DENSIDAD COMPACTADA ÓPTIMA DE LOS AGREGADOS



AGREGADOS	PORCENTAJE (%)	DENSIDAD MÁXIMA	% ÓPTIMA	DENSIDAD OPTIMA
ARENA	35	1.85	31	1.875
RIPIO	65		69	

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYO DE DENSIDAD COMPACTADA ÓPTIMA DE LOS AGREGADOS

NORMA: NTE INEN 0858:83 (ASTM C – 29)

ENSAYO N°: 05

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

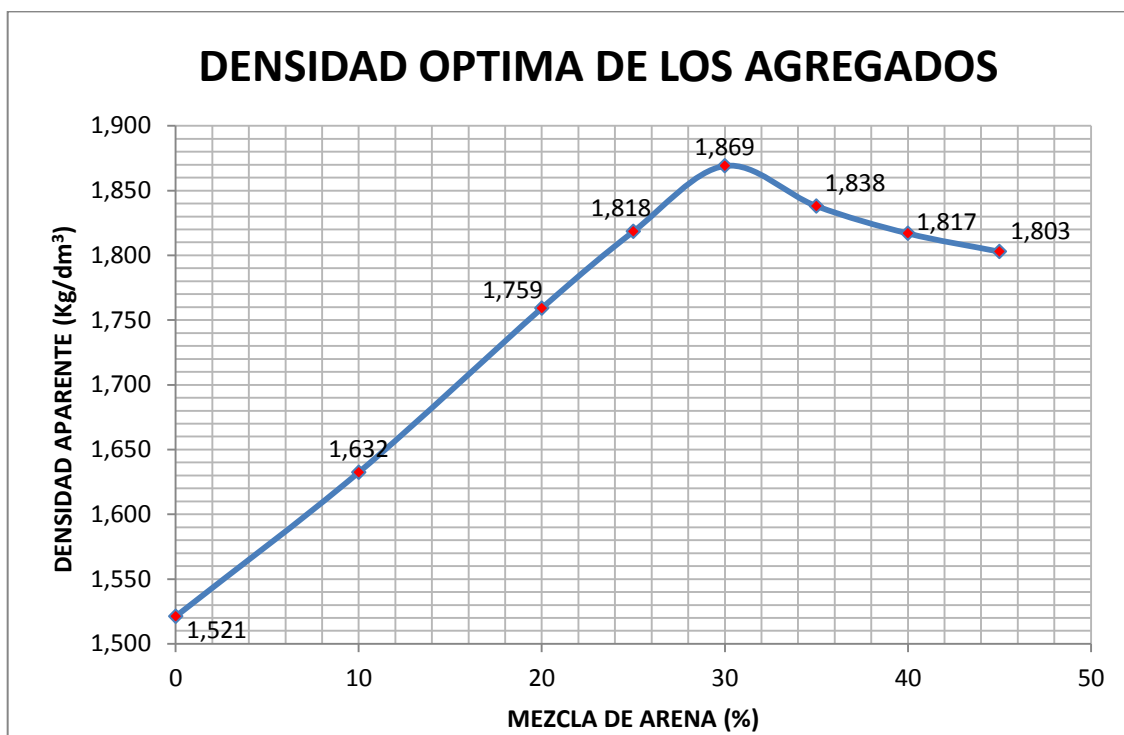
FECHA: Quito, 24/10/2012

Tabla N° 3.62 Resultado del Ensayo de la Densidad Compactada Óptima.

DENSIDAD ÓPTIMA DE LOS AGREGADOS												
Masa del recipiente vacío										9100		G
Volumen del recipiente										14200		cm ³
MEZCLA (%)		MASA (kg)		AÑADIR ARENA (kg)	MASA DEL RECIPIENTE + MEZCLA (kg)					PROMED (g)	MASA DE LA MEZCLA (g)	DENSIDAD APARENT (kg/dm ³)
RIPIO	ARENA	RIPIO	ARENA									
100	0	40	0,00	0,00	30600	30800	30600	30800	30700	30700.00	21600.00	1.521
90	10	40	4.44	4.44	32300	32200	32200	32400	32300	32280.00	23180.00	1.632
80	20	40	10	5.56	34100	33900	34000	34200	34200	34080.00	24980.00	1.759
75	25	40	13.33	3.33	35000	34900	34800	35000	34900	34920.00	25820.00	1.818
70	30	40	17.14	3.81	35700	35800	36000	34800	35900	35640.00	26540.00	1.869
65	35	40	21.54	4.4	35300	35100	35100	35200	35300	35200.00	26100.00	1.838
60	40	40	26.67	5.13	35000	34900	34800	34900	34900	34900.00	25800.00	1.817
55	45	40	32.73	6.06	34800	34600	34600	34700	34800	34700.00	25600.00	1.803



CURVA DE DENSIDAD COMPACTADA ÓPTIMA DE LOS AGREGADOS



AGREGADOS	PORCENTAJE (%)	DENSIDAD MÁXIMA	% ÓPTIMA	DENSIDAD OPTIMA
ARENA	35	1.84	31	1.868
RIPIO	65		69	

3.3.7 Granulometría.

La granulometría adecuada para un hormigón consiste en una combinación adecuada de tamaño de los granos, debiendo cumplir con el postulado de que el agregado debe ocupar el mayor volumen posible dentro del hormigón, entonces la distribución de partículas o granos, debe ser tal, que deje el menor porcentaje de “vacíos” (espacios llenos de aire) entre partículas.

El Ing. Norteamericano D. A. Abrams fue uno de los primeros en investigar la granulometría de los agregados y propuso un procedimiento para determinar la distribución de partículas que produce resultados satisfactorios.

El procedimiento establecido por Abrams consiste en determinar la distribución de las partículas de un agregado según los tamaños, y se realiza por medio de tamices estandarizados.

La granulometría y el tamaño máximo de agregado afectan las proporciones relativas de los agregados así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción.

El tamaño máximo del agregado grueso que se utiliza en el hormigón tiene su fundamento en la economía. Comúnmente se necesita más agua y cemento para agregados de tamaño pequeño que para tamaños mayores. El tamaño máximo nominal de un agregado, es el menor tamaño de la malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado.

La granulometría de los agregados finos depende del tipo de trabajo, de la riqueza de la mezcla, y el tamaño máximo del agregado grueso. En mezclas más pobres, o cuando se emplean agregados gruesos de tamaño pequeño, la granulometría que más se aproxime al porcentaje máximo que pasa por cada tamiz resulta lo más conveniente para lograr una buena trabajabilidad. En general, si la relación agua /cemento se mantiene constante y la relación de agregado fino a grueso se elige correctamente, se puede hacer uso de un amplio rango de granulometría sin tener un efecto apreciable en la resistencia.

El tener una distribución por tamaños adecuada hace que los huecos dejados por las piedras más grandes sean ocupados por las del tamaño siguiente, es decir, que la cantidad de huecos dejada por los agregados sea mínima logrando la máxima "compacidad".³⁵

Entre más uniforme sea la granulometría, mayor será la economía. El módulo de finura (MF) del agregado grueso o del agregado fino se obtiene conforme a la norma ASTM C 125; esto es sumando los porcentajes acumulados en peso de los agregados retenidos en una serie especificada de mallas y dividiendo la suma entre 100.

El módulo de finura es un índice del tamaño promedio del agregado; entre mayor sea el módulo de finura, más grueso será el agregado.

Para poder trazar la curva Granulométrica, se debe contar con los resultados del ensayo de análisis granulométrico según las normas NTE-INEN 0696:83 (ASTM C-136, ASTM C-125), que nos indica la distribución del tamaño de las partículas, tamices, módulo de finura, respectivamente.

³⁵ ASMAL, Daniel. *Módulo de Elasticidad del Hormigón*, Tesis 2012 – Pág. 257

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE AGREGADO GRUESO (RIPIO)

NORMA: NTE INEN 0696:83 (ASTM C – 136)

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 24/10/2012

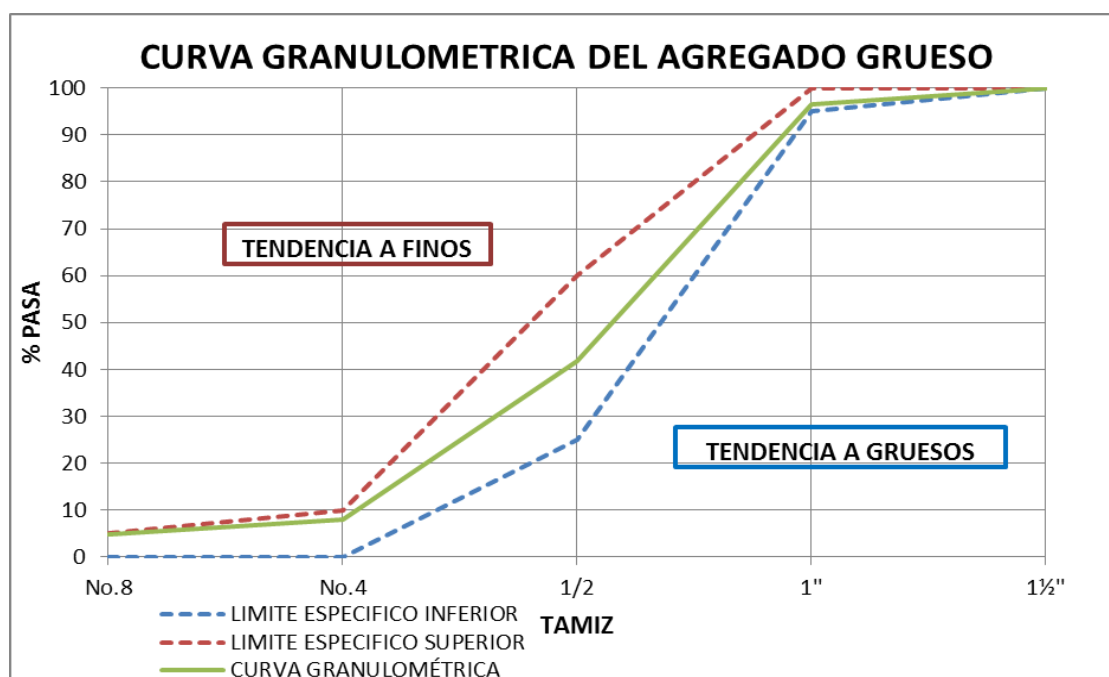
ENSAYO N°: 01

Tabla N° 3.63 Resultado del Ensayo de Granulometría.

TAMIZ	RETENIDO		% RETENIDO	% PASA	LIMITES ESPECIFICOS
	PARCIAL (g.)	ACUMULADO (g.)			
1½"	0	0	0	100	100
1"	423	423	4	96	95 – 100
¾"	2374	2797	23	77	-----
1/2"	4159	6956	58	42	25 – 60
3/8"	1474	8430	71	29	-----
No.4	2565	10995	92	8	0 – 10
No.8	364	11359	95	5	0 – 5
BANDEJA	584	11943	100	0	

MF = 6.81

TNM = 1"





ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE AGREGADO GRUESO (RIPIO)

NORMA: NTE INEN 0696:83 (ASTM C – 136)

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 24/10/2012

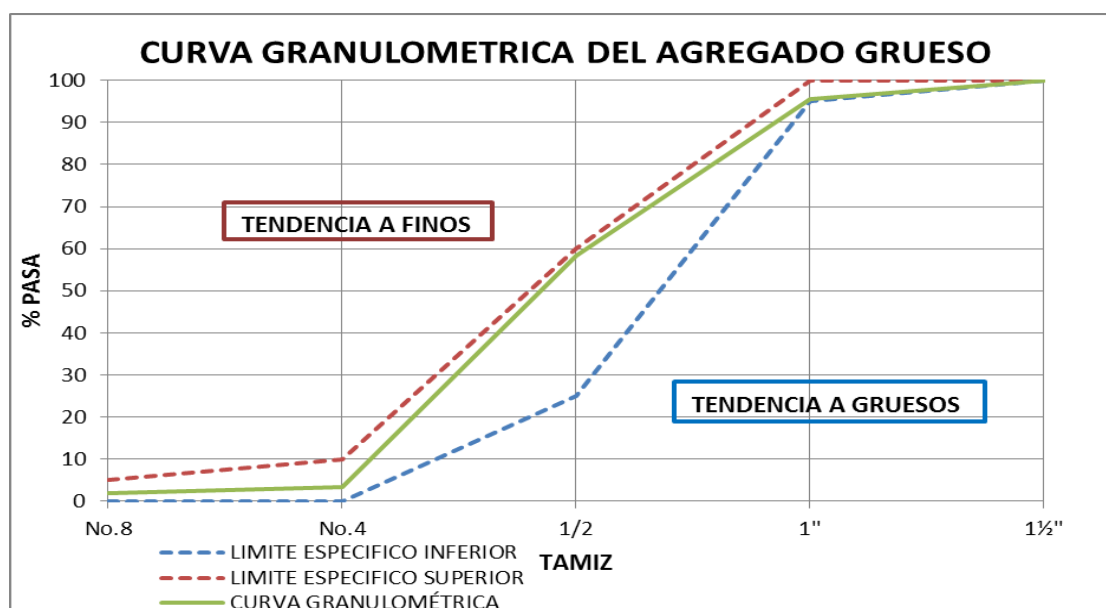
ENSAYO N°: 02

Tabla N° 3.64 Resultado del Ensayo de Granulometría.

TAMIZ	RETENIDO		% RETENIDO	% PASA	LIMITES ESPECIFICOS
	PARCIAL (g.)	ACUMULADO (g.)			
1½"	0	0	0	100	100
1"	573	573	4	96	95 – 100
¾"	1718	2291	18	82	-----
1/2"	3107	5398	42	58	25 – 60
3/8"	2883	8281	64	36	-----
No.4	4216	12497	97	3	0 – 10
No.8	216.5	12713.5	98	2	0 – 5
BANDEJA	233.1	12946.6	100	0	

MF = 6.77

TNM = 1"





ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE AGREGADO GRUESO (RIPIO)

NORMA: NTE INEN 0696:83 (ASTM C – 136)

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 24/10/2012

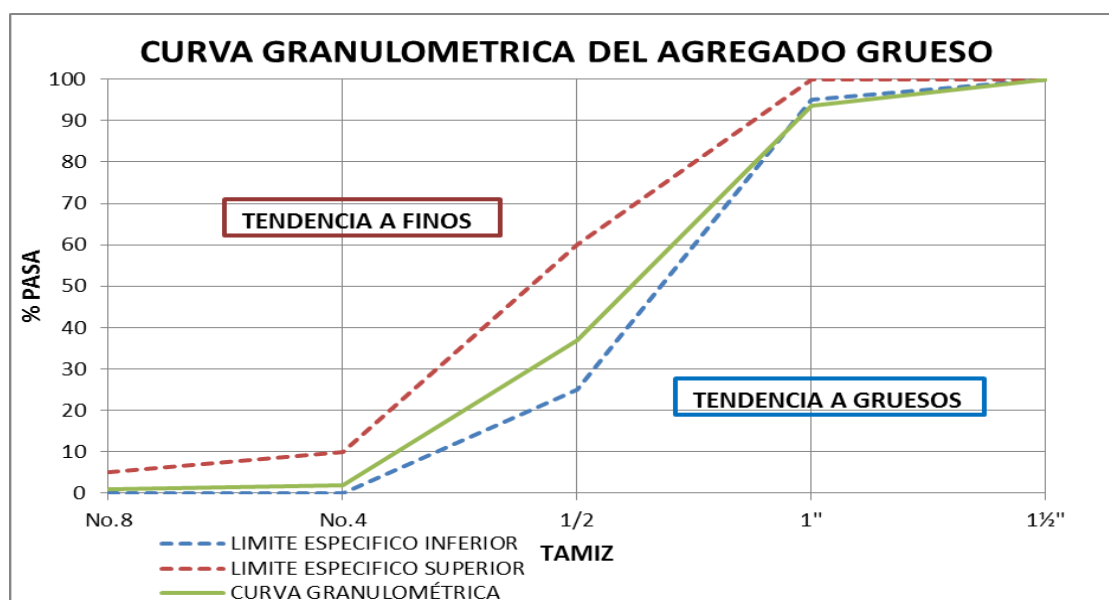
ENSAYO N°: 03

Tabla N° 3.65 Resultado del Ensayo de Granulometría.

TAMIZ	RETENIDO		% RETENIDO	% PASA	LIMITES ESPECIFICOS
	PARCIAL (g.)	ACUMULADO (g.)			
1½"	0	0	0	100	100
1"	725	725	6	94	95 – 100
¾"	2650	3375	29	71	-----
1/2"	3922	7297	63	37	25 – 60
3/8"	1861	9158	79	21	-----
No.4	2160	11318	98	2	0 – 10
No.8	125.4	11443.4	99	1	0 – 5
BANDEJA	107.3	11550.7	100	0	

MF = 7.05

TNM = 1"



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE AGREGADO GRUESO (RIPIO)

NORMA: NTE INEN 0696:83 (ASTM C – 136)

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 24/10/2012

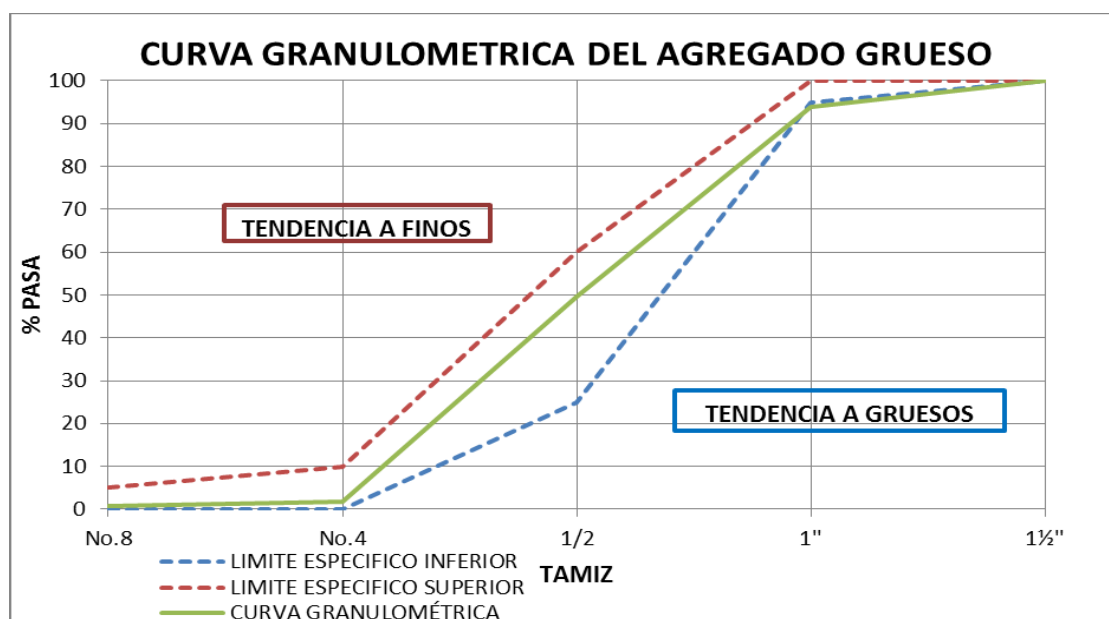
ENSAYO N°: 04

Tabla N° 3.66 Resultado del Ensayo de Granulometría.

TAMIZ	RETENIDO		% RETENIDO	% PASA	LIMITES ESPECIFICOS
	PARCIAL (g.)	ACUMULADO (g.)			
1½"	0	0	0	100	100
1"	750	750	6	94	95 – 100
¾"	2093	2843	23	77	-----
½"	3370	6213	50	50	25 – 60
3/8"	2685	8898	72	28	-----
No.4	3215	12113	98	2	0 – 10
No.8	148.1	12261.1	99	1	0 – 5
BANDEJA	80.7	12341.8	100	0	

MF = 6.92

TNM = 1"



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE AGREGADO GRUESO (RIPIO)

NORMA: NTE INEN 0696:83 (ASTM C – 136)

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 24/10/2012

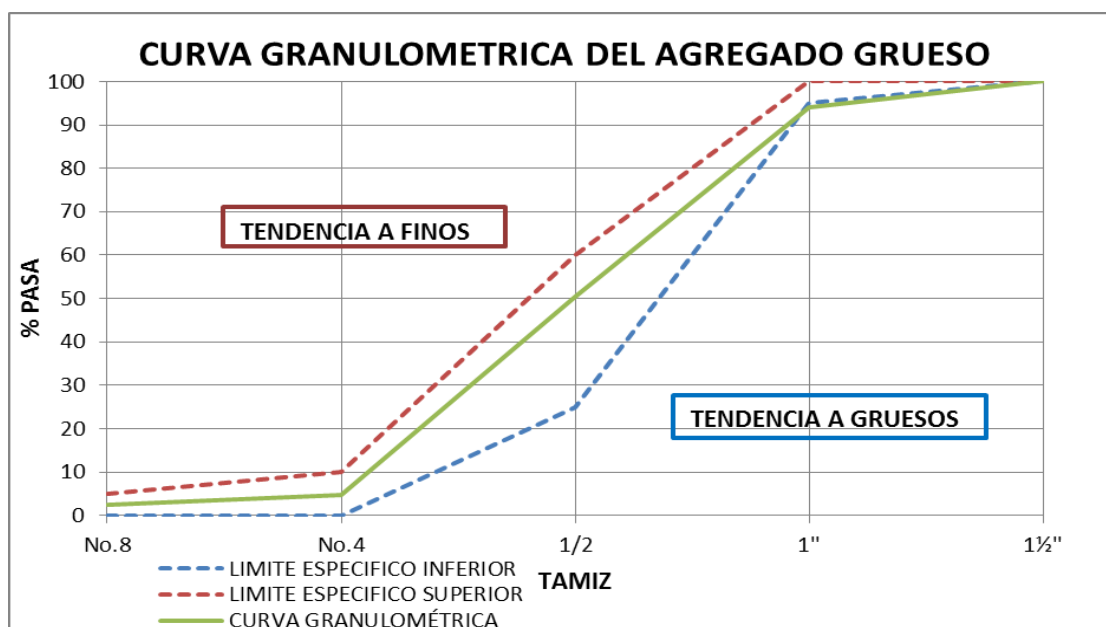
ENSAYO N°: 05

Tabla N° 3.67 Resultado del Ensayo de Granulometría.

TAMIZ	RETENIDO		% RETENIDO	% PASA	LIMITES ESPECIFICOS
	PARCIAL (g.)	ACUMULADO (g.)			
1½"	0	0	0	100	100
1"	749	749	6	94	95 – 100
¾"	2583	3332	26	74	-----
1/2"	2900	6232	49	51	25 – 60
3/8"	3117	9349	74	26	-----
No.4	2652	12001	95	5	0 – 10
No.8	285.49	12286.49	98	2	0 – 5
BANDEJA	305.4	12591.89	100	0	

MF = 6.93

TNM = 1"





ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO (ARENA)

NORMA: NTE INEN 0696:83 (ASTM C – 136)

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

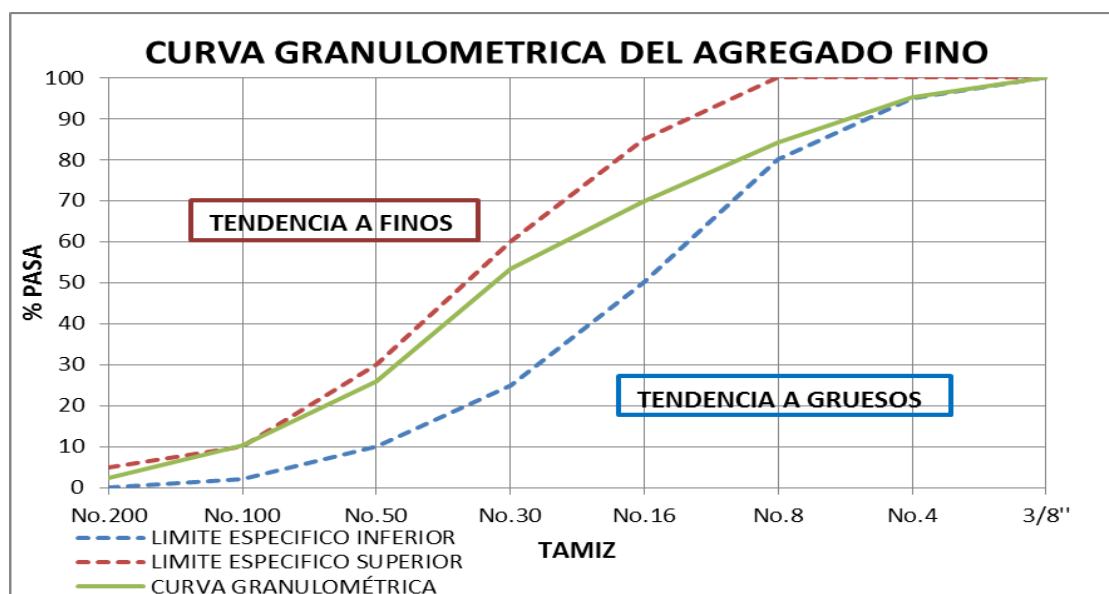
FECHA: Quito, 24/10/2012

ENSAYO N°: 01

Tabla N° 3.68 Resultado del Ensayo de Granulometría.

TAMIZ	RETENIDO		% RETENIDO	% PASA	LIMITES ESPECIFICOS
	PARCIAL (g.)	ACUMULADO (g.)			
3/8"	0	0	0	100	100
No.4	30.12	30.12	5	95	95 – 100
No.8	70.25	100.37	16	84	80 – 100
No.16	89.29	189.66	30	70	50 - 85
No.30	104.36	294.02	47	53	25 – 60
No.50	172.3	466.32	74	26	10 – 30
No.100	98.65	564.97	90	10	2 – 10
No.200	50.36	615.33	98	2	0-5
BANDEJA	15.32	630.65	100	0	

MF = 2.61



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO (ARENA)

NORMA: NTE INEN 0696:83 (ASTM C – 136)

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

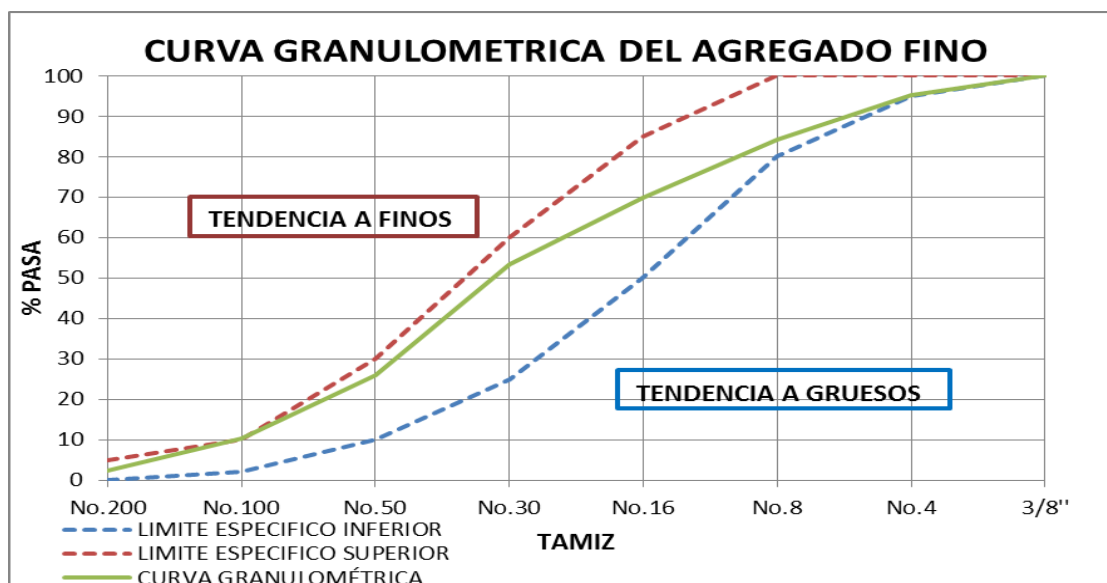
FECHA: Quito, 24/10/2012

ENSAYO N°: 02

Tabla N° 3.69 Resultado del Ensayo de Granulometría.

TAMIZ	RETENIDO		% RETENIDO	% PASA	LIMITES ESPECIFICOS
	PARCIAL (g.)	ACUMULADO (g.)			
3/8"	0	0	0	100	100
No.4	28.54	28.54	4	96	95 – 100
No.8	57.12	85.66	13	87	80 – 100
No.16	88.69	174.35	27	73	50 - 85
No.30	127.49	301.84	47	53	25 – 60
No.50	185.42	487.26	76	24	10 – 30
No.100	114.5	601.76	94	6	2 – 10
No.200	32.67	634.43	99	1	0-5
BANDEJA	8.59	643.02	100	0	

MF = 2.61





ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO (ARENA)

NORMA: NTE INEN 0696:83 (ASTM C – 136)

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

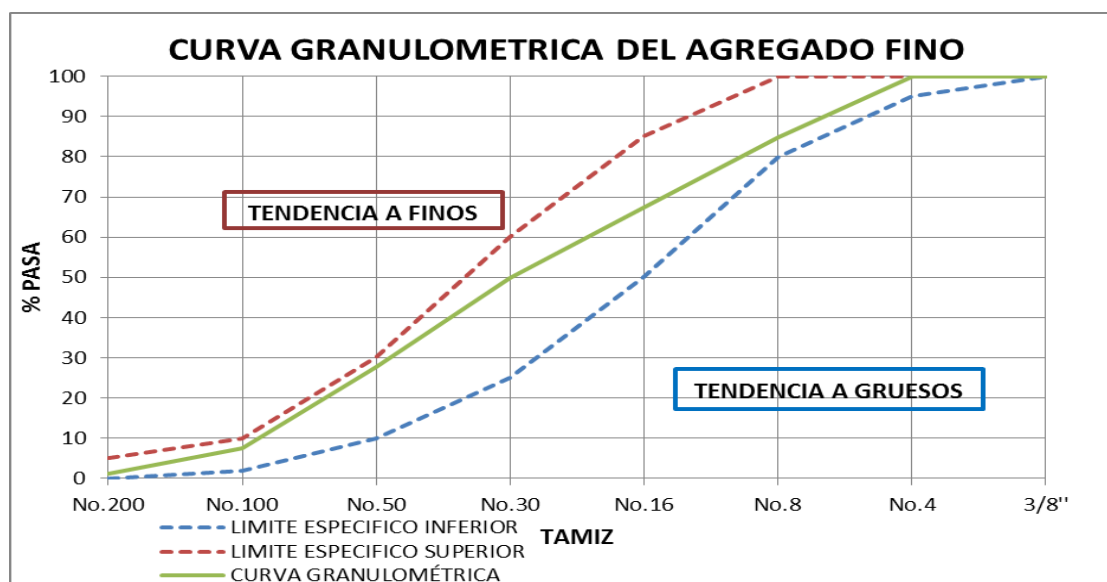
FECHA: Quito, 24/10/2012

ENSAYO N°: 03

Tabla N° 3.70 Resultado del Ensayo de Granulometría.

TAMIZ	RETENIDO		% RETENIDO	% PASA	LIMITES ESPECIFICOS
	PARCIAL (g.)	ACUMULADO (g.)			
3/8"	0	0	0	100	100
No.4	0.1	0.1	0	100	95 – 100
No.8	68.6	68.7	15	85	80 – 100
No.16	78	146.7	33	67	50 - 85
No.30	79.5	226.2	50	50	25 – 60
No.50	99.8	326	72	28	10 – 30
No.100	90.36	416.36	92	8	2 – 10
No.200	28.54	444.9	99	1	0-5
BANDEJA	5.4	450.3	100	0	

MF = 2.63





ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO (ARENA)

NORMA: NTE INEN 0696:83 (ASTM C – 136)

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

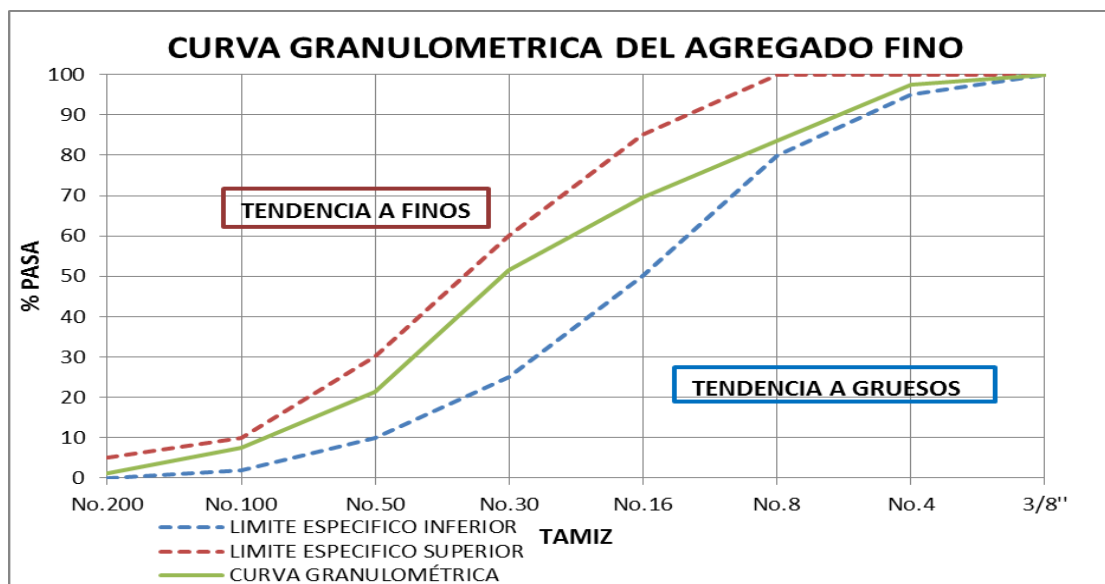
FECHA: Quito, 24/10/2012

ENSAYO N°: 04

Tabla N° 3.71 Resultado del Ensayo de Granulometría.

TAMIZ	RETENIDO		% RETENIDO	% PASA	LIMITES ESPECIFICOS
	PARCIAL (g.)	ACUMULADO (g.)			
3/8"	0	0	0	100	100
No.4	15.24	15.24	3	97	95 – 100
No.8	83.5	98.74	16	84	80 – 100
No.16	86	184.74	31	69	50 - 85
No.30	108.7	293.44	49	51	25 – 60
No.50	182.7	476.14	79	21	10 – 30
No.100	83.1	559.24	92	8	2 – 10
No.200	38.4	597.64	99	1	0-5
BANDEJA	7.3	604.94	100	0	

MF = 2.69



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO (ARENA)

NORMA: NTE INEN 0696:83 (ASTM C – 136)

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

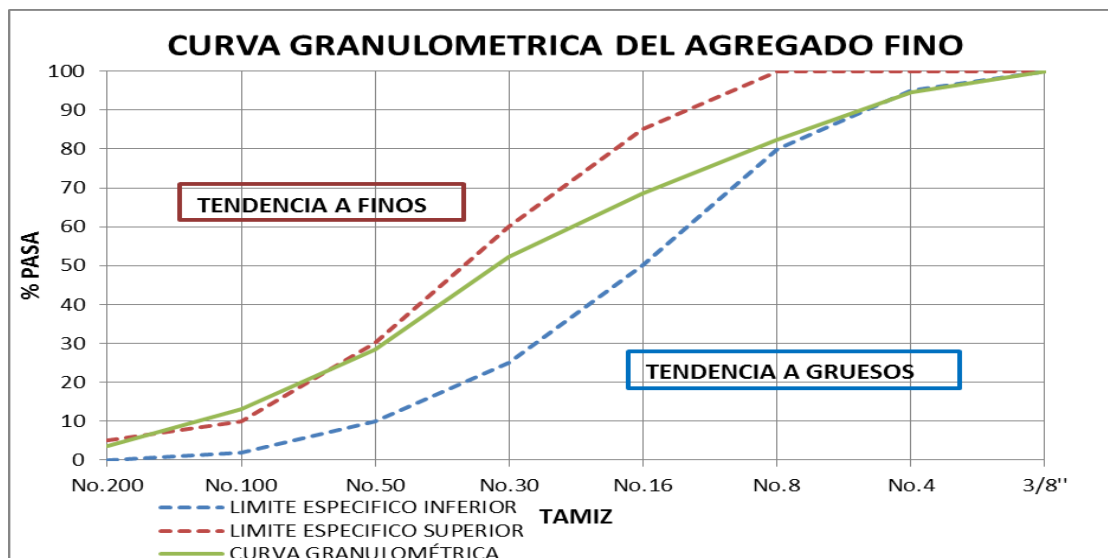
FECHA: Quito, 24/10/2012

ENSAYO N°: 05

Tabla N° 3.72 Resultado del Ensayo de Granulometría.

TAMIZ	RETENIDO		% RETENIDO	% PASA	LIMITES ESPECIFICOS
	PARCIAL (g.)	ACUMULADO (g.)			
3/8"	0	0	0	100	100
No.4	32.5	32.5	5	95	95 – 100
No.8	71.1	103.6	18	82	80 – 100
No.16	81.9	185.5	31	69	50 - 85
No.30	96.2	281.7	48	52	25 – 60
No.50	141.3	423	72	28	10 – 30
No.100	90.5	513.5	87	13	2 – 10
No.200	56	569.5	96	4	0-5
BANDEJA	21.9	591.4	100	0	

MF = 2.60



3.4 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CEMENTO.

Las propiedades físicas y mecánicas del cemento Portland se miden mediante ensayos realizados en el cemento puro, en la pasta o en el mortero y muestran la calidad del cemento. Con el afán de estudiar a fondo las propiedades de la pasta de cemento, es de suma importancia indagar y evaluar acerca de los rangos o posibles variaciones que puedan tener éstas para que se encuentre en situaciones óptimas, teniendo como fin último su mejor rendimiento y utilización.

3.4.1 Superficie Específica (Finura) por Tamizado.

La finura del cemento es una de las propiedades físicas más importantes del cemento, ya que está directamente relacionada con la hidratación del mismo.

La hidratación de los granos de cemento ocurre del exterior hacia el interior; luego el área superficial de la partícula de cemento constituye el material de hidratación, y el tamaño de los granos (su finura) tiene gran influencia en la velocidad de hidratación, en el desarrollo de calor, en la refracción y en el aumento de resistencia con la edad.

Cuando el cemento es muy fino endurece más rápido y por tanto desarrolla alta resistencia en menor tiempo; sin embargo libera mayor cantidad de calor y por ende aumenta la retracción y la susceptibilidad a la figuración, además una molienda fina aumenta los costos de producción y hace que el cemento sea susceptible a hidratarse con la humedad ambiental, por lo que su vida útil es más corta.

Un grano fino exuda menos que un grano grueso porque retiene mejor el agua al tener mayor superficie de hidratación.³⁶

El ensayo se realiza de acuerdo a la norma NTE INEN 957.

³⁶ <http://elconcreto.blogspot.com/2009/01/propiedades-fisicas-y-mecanicas-del.html>



ENSAYO DE FINURA POR TAMIZADO DEL CEMENTO

NORMA: NTE INEN 957 (ASTM C – 115)

ORIGEN: Cemento Chimborazo

FECHA: Quito, 30/01/2013

ENSAYO N°: 1 y 2

Tabla N° 3.73 Resultado del Ensayo de Finura del Cemento.

Masa Inicial **50** **gr.**

TAMIZ	PESO RETENIDO		% Retenido	% Pasa
	Parcial (g)	Acumulado (g)		
N° 100	0.30	0.30	1	99
N° 200	2.70	3.00	6	94
N° 325	40.40	43.40	87	13
BANDEJA	6.50	49.90	100	0

MF = 87.00 %

Tabla N° 3.74 Resultado del Ensayo de Finura del Cemento.

Masa Inicial **50** **gr.**

TAMIZ	PESO RETENIDO		% Retenido	% Pasa
	Parcial (g)	Acumulado (g)		
N° 100	0.20	0.20	0	100
N° 200	0.70	0.90	2	98
N° 325	45.00	45.90	92	8
BANDEJA	3.80	49.70	100	0

MF = 92.40 %

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYO DE FINURA POR TAMIZADO DEL CEMENTO

NORMA: NTE INEN 957 (ASTM C – 115)

ORIGEN: Cemento Chimborazo

FECHA: Quito, 30/01/2013

ENSAYO N°: 3 y 4

Tabla N° 3.75 Resultado del Ensayo de Finura del Cemento.

Masa Inicial **50** **gr.**

TAMIZ	PESO RETENIDO		% Retenido	% Pasa
	Parcial (g)	Acumulado (g)		
N° 100	0.00	0.00	0	100
N° 200	0.70	0.70	1	99
N° 325	44.60	45.30	91	9
BANDEJA	4.50	49.80	100	0

MF = 91.00 %

Tabla N° 3.76 Resultado del Ensayo de Finura del Cemento.

Masa Inicial **50** **gr.**

TAMIZ	PESO RETENIDO		% Retenido	% Pasa
	Parcial (g)	Acumulado (g)		
N° 100	0.00	0.00	0	100
N° 200	1.20	1.20	2	98
N° 325	41.10	42.30	85	15
BANDEJA	7.40	49.70	100	0

MF = 85.20 %

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYO DE FINURA POR TAMIZADO DEL CEMENTO

NORMA: NTE INEN 957 (ASTM C – 115)

ORIGEN: Cemento Chimborazo

FECHA: Quito, 30/01/2013

ENSAYO N°: 5

Tabla N° 3.77 Resultado del Ensayo de Finura del Cemento.

Masa Inicial **50** **gr.**

TAMIZ	PESO RETENIDO		% Retenido	% Pasa
	Parcial (g)	Acumulado (g)		
N° 100	0.10	0.10	0	100
N° 200	1.80	1.90	4	96
N° 325	38.40	40.30	83	17
BANDEJA	8.20	48.50	100	0

MF = 83.60 %

3.4.2 Densidad del Cemento.

La densidad del cemento es la relación de masa de cemento entre el volumen desplazado por el cemento, se expresa en gr/cm^3 .

Para determinar la densidad del cemento se obtiene dos procedimientos, a razón de comparar los resultados:

- Mediante frasco de Lechatelier
- Mediante el Picnómetro

El valor del peso específico en el cemento se encuentra normalmente entre los siguientes valores $3,10 \text{ gr/cm}^3$ y $3,15 \text{ gr/cm}^3$, para el cemento Portland Tipo 1 y para cementos Portland Puzolanico está entre los siguientes valores $2,90 \text{ gr/cm}^3$ y $3,00 \text{ gr/cm}^3$.

La densidad del cemento no indica la calidad del cemento, pero se emplea en el diseño y control de mezclas del hormigón; sin embargo una densidad baja y una finura alta indican que el cemento tiene adiciones.

El procedimiento con el cual se determinó la densidad aparente está descrito en la norma INEN 156 (ASTM C – 188).



ENSAYO DE DENSIDAD DEL CEMENTO

NORMA: NTE INEN 0156:09 2R (ASTM C – 188)

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 07/11/2012

ENSAYO N°: 01

Tabla N° 3.78 Método: Picnómetro

DENSIDAD ABSOLUTA CON EL PICNÓMETRO			
N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa del picnómetro vacío	172.10	g
2	Masa del picnómetro + cemento	316.60	g
3	Masa del cemento	144.50	g
4	Masa del picnómetro + cemento + gasolina	647.70	G
5	Masa del picnómetro + 500 cm ³ de gasolina	542.40	G
6	Masa de gasolina	370.30	G
7	Volumen de la gasolina	500.00	cm ³
8	Densidad del cemento	2.73	g/cm³

Tabla N° 3.79 Método: Lechatellier

DENSIDAD ABSOLUTA CON EL FRASCO DE LECHATELLIER			
N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Lectura inicial del frasco de Lechatellier + gasolina	0.60	MI
2	Masa del frasco + gasolina	326.10	G
3	Lectura final del frasco + cemento + gasolina	20.10	MI
4	Masa final del frasco + cemento + gasolina	381.60	G
5	Densidad del cemento	2.85	g/cm³

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYO DE DENSIDAD DEL CEMENTO

NORMA: NTE INEN 0156:09 2R (ASTM C – 188)

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 07/11/2012

ENSAYO N°: 02

Tabla N° 3.80 Método: Picnómetro

DENSIDAD ABSOLUTA CON EL PICNÓMETRO			
N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa del picnómetro vacío	173.60	g
2	Masa del picnómetro + cemento	280.60	g
3	Masa del cemento	107.00	g
4	Masa del picnómetro + cemento + gasolina	621.40	g
5	Masa del picnómetro + 500 cm ³ de gasolina	543.00	g
6	Masa de gasolina	369.40	g
7	Volumen de la gasolina	500.00	cm ³
8	Densidad del cemento	2.76	g/cm ³

Tabla N° 3.81 Método: Lechatellier

DENSIDAD ABSOLUTA CON EL FRASCO DE LECHATELLIER			
N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Lectura inicial del frasco de Lechatellier + gasolina	0.70	ml
2	Masa del frasco + gasolina	326.50	g
3	Lectura final del frasco + cemento + gasolina	19.20	ml
4	Masa final del frasco + cemento + gasolina	379.10	g
5	Densidad del cemento	2.84	g/cm ³

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYO DE DENSIDAD DEL CEMENTO

NORMA: NTE INEN 0156:09 2R (ASTM C – 188)

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 07/11/2012

ENSAYO N°: 03

Tabla N° 3.82 Método: Picnómetro

DENSIDAD ABSOLUTA CON EL PICNÓMETRO			
N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa del picnómetro vacío	159.00	g
2	Masa del picnómetro + cemento	291.10	g
3	Masa del cemento	132.10	g
4	Masa del picnómetro + cemento + gasolina	625.50	g
5	Masa del picnómetro + 500 cm ³ de gasolina	528.90	g
6	Masa de gasolina	369.90	g
7	Volumen de la gasolina	500.00	cm ³
8	Densidad del cemento	2.75	g/cm³

Tabla N° 3.83 Método: Lechatellier

DENSIDAD ABSOLUTA CON EL FRASCO DE LECHATELLIER			
N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Lectura inicial del frasco de Lechatellier + gasolina	0.80	ml
2	Masa del frasco + gasolina	325.00	g
3	Lectura final del frasco + cemento + gasolina	19.00	ml
4	Masa final del frasco + cemento + gasolina	377.40	g
5	Densidad del cemento	2.88	g/cm³

3.4.3 Consistencia Normal.

Monroy, C., & Luna, G. (1985), Consistencia Normal: *“La consistencia normal se define como el estado de una cantidad de cemento cuando se encuentran hidratadas todas y cada una de sus partículas.”*

La consistencia normal es un estado de fluidez alcanzado por la pasta del cemento que tiene una propiedad óptima de hidratación. Se expresa como un porcentaje en peso o volumen de agua con relación al peso seco del cemento.

$$W_{\text{agua}} / W_{\text{cemento}} = \% \text{ Consistencia Normal.}$$

Para determinar el principio y final de fraguado del cemento, es necesario determinar primeramente el contenido de agua que la pasta necesita para producir una pasta normal, es decir el contenido de agua que el cemento necesita para adquirir una `consistencia normal.

La consistencia se mide por medio del aparato de Vicat, utilizando un émbolo de 10 mm de diámetro, acondicionado dentro se coloca en la forma prescrita por la INEN - 157 (ASTM C – 187), y se coloca en el molde. Enseguida se coloca el émbolo en contacto con la superficie superior de la pasta y se suelta. Por la acción del propio peso del émbolo, éste penetra en la pasta, y la profundidad de penetración depende de la consistencia de la pasta.³⁷

La pasta se considera de consistencia normal cuando la sonda penetra 10 mm +- 1 mm a los 30 segundos de haber sido soltada. El contenido de agua de la pasta estándar se expresa como porcentaje en peso de cemento seco, y el valor normal varía entre 25 y 33 %, sin embargo estos valores establecidos varían de acuerdo a las condiciones en que se realice el ensayo.

El ensayo se realiza de acuerdo a la norma INEN - 157 (ASTM C – 187).

³⁷ <http://html.rincondelvago.com/consistencia-del-cemento.html>



ENSAYO DE CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO

NORMA: INEN - 157 (ASTM C – 187)

ORIGEN: Cemento Chimborazo

FECHA: Quito, 07/11/2012

ENSAYO N°: 01, 02, 03

Tabla N° 3.84 Resultado del Ensayo de Consistencia Normal del Cemento.

CONSISTENCIA NORMAL

N°	PESO	AGUA	AGUA	PENETRACIÓN
	g	%	ml	mm
1	650	27	175.00	10.00

Tabla N° 3.85 Resultado del Ensayo de Consistencia Normal del Cemento.

CONSISTENCIA NORMAL

N°	PESO	AGUA	AGUA	PENETRACIÓN
	g	%	ml	mm
1	650	27	175.00	10.00

Tabla N° 3.86 Resultado del Ensayo de Consistencia Normal del Cemento.

CONSISTENCIA NORMAL

N°	PESO	AGUA	AGUA	PENETRACIÓN
	g	%	ml	mm
1	650	27	175.00	10.00

3.4.4 Relación de Agua/Cemento (W/C).

Es uno de los parámetros más importantes de la tecnología del hormigón, puede expresarse en término de durabilidad y de una resistencia mínima; o frecuentemente, en término de un factor de cemento mínimo.

Expresa la íntima relación que existe entre el peso del agua utilizada en la mezcla y el peso del cemento. Dado que el peso del agua utilizada siempre es menor que el peso del cemento, el efecto resultante es menor que la unidad.

La relación agua / cemento (a/c) es el valor característico más importante de la tecnología del hormigón. De ella dependen la resistencia y la durabilidad, así como los coeficientes de retracción y de fluencia. También determina la estructura interna de la pasta de cemento endurecida.

La relación agua cemento es el cociente entre las cantidades de agua y de cemento existentes en el hormigón fresco. O sea que se calcula dividiendo la masa del agua por la del cemento contenidas en un volumen dado de hormigón.

Esta relación crece cuando aumenta la cantidad de agua y decrece cuando aumenta el contenido de cemento. En todos los casos, cuanto más baja es la relación agua / cemento tanto más favorables son las propiedades de la pasta de cemento endurecida.³⁸

El factor de cemento necesario se puede calcular utilizando la relación de agua/cemento máxima permisible, que se indica en la siguiente tabla:

³⁸ <http://www.icpa.org.ar/publico/files/relacion%20agua%20cemento.pdf>

Tabla N° 3.87 Relación de Agua/Cemento.

Resistencia del Hormigón		W/C
kg/cm ²	MPa	
180	18	0,60
210	21	0,58
240	24	0,56
250	25	0,55
280	28	0,52
300	30	0,51
320	32	0,5
350	35	0,46
400	40	0,42
420	42	0,4
450	45	0,37

PROPORCIONADA: por el Ing. Marco Garzón C., Director del Laboratorio de Ensayo de Materiales y Modelos – U.C.E.

El grafico de la figura N° 3.5 representa la curva de resistencias calculadas por Abrams, en base a la relación agua-cemento (W/C).³⁹

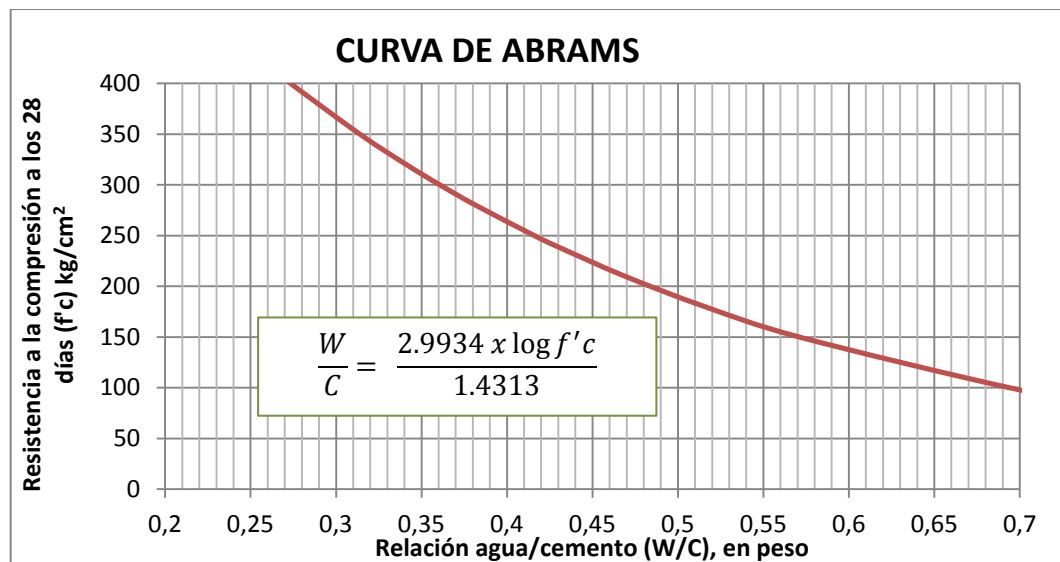


FIGURA N° 3.8 Relación Agua/Cemento, en Peso

$$W = POV - \frac{C}{3,1}$$

³⁹ Hormigón Armado – F. Martín de la Escalera – Sexta Edición: 1957: Pág. 18.

3.5 RESUMEN DE PROPIEDADES.

➤ **Ensayo de Abrasión:**

Porcentaje de pérdida después de 500 revoluciones	34.26 %
Coeficiente de uniformidad	0.20

➤ **Ensayo de Colorimetría:**

Figura N° 1, Blanco claro a transparente, arena de muy buena calidad por no contener materia orgánica, limo o arcillas.

➤ **Ensayo de Densidad Real (Peso Específico):**

Agregado grueso (ripio)	2,46 g/cm ³
Agregado fino (arena)	2.53 g/cm ³

➤ **Ensayo de Capacidad de Absorción:**

Agregado grueso (ripio)	2.65%
Agregado fino (arena)	0.67%

➤ **Ensayo de Contenido de Humedad:**

Agregado grueso (ripio)	2.28%
Agregado fino (arena)	4.19%

➤ **Ensayo de Densidad Aparente Suelta y Compactada:**

Agregado grueso (ripio)	
Densidad Aparente Suelta	1.34 g/cm ³
Densidad Aparente Compactada	1.48 g/cm ³
Agregado fino (arena)	
Densidad Aparente Suelta	1.50 g/cm ³
Densidad Aparente Compactada	1.64 g/cm ³
Densidad Aparente Compactada de los Agregados:	
Densidad máxima	1.84 g/cm ³

Densidad óptima

1.87 g/cm³

➤ **Ensayo de Granulometría:**

Agregado grueso (ripio)

La curva de granulometría del ripio se encuentra dentro de los límites aceptables

Módulo de Finura

6.92

Agregado Fino (arena)

La curva de granulometría de la arena se encuentra fuera de los límites aceptables

Módulo de Finura

2.61

➤ **Ensayo de Densidad del Cemento:**

Módulo de Finura

87.84 %

Usando el Picnómetro

2.76 g/cm³

Usando el frasco de Lechatelier

2.88 g/cm³

Densidad para Cálculos

2.82 g/cm³

CAPÍTULO IV

MEZCLAS DE HORMIGÓN

4.1 FIJACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO DE MEZCLAS PARA RESISTENCIA ESPECIFICADAS DE 21 MPa.

El diseño de mezclas es un proceso que consiste en determinar las proporciones de los elementos que conforman el hormigón, con el fin de obtener los mejores resultados y un máximo de las propiedades esperadas, tanto en su estado fresco, como endurecido y lógicamente, con el menor costo posible. Por lo tanto, los materiales se escogen, con el fin de conseguir las características esperadas en la mezcla y mediante una adecuada dosificación, se consiguen adecuadas propiedades en el hormigón.

Los parámetros de diseño están directamente relacionados con el uso que se le va a dar al hormigón, el tipo de obra en el cual se va a emplear y con las propiedades físico – mecánicas de los agregados:⁴⁰

- La relación agua / cemento
- La consistencia de la mezcla
- El factor cemento
- La relación de agregados fino y grueso
- El contenido de aire
- Uso de aditivos

Los métodos actuales de diseño de mezclas contemplan valores límite respecto de un rango de propiedades que deben cumplirse:

La relación agua/cemento, depende de los requerimientos de resistencia y las condiciones de exposición ambiental.

La consistencia de la mezcla, puede ser tomada como una medida indirecta de la trabajabilidad, siempre que se cumplan con las otras características de una mezcla de

⁴⁰ BELTRÁN, Orlando. *Módulo de Elasticidad del Hormigón. Tesis 2005: Pág. 15 – 16*

buena trabajabilidad (plasticidad, homogeneidad, cohesión, suficiente cantidad de mortero).

El factor cemento, es una forma alternativa de imponer las condiciones de resistencia, especialmente a los agentes atmosféricos.

La relación de agregados fino y grueso, es otro factor variable aunque se puede tomar como un punto de partida de acuerdo al método de diseño empleado.

El contenido de aire, determinación en hormigón fresco que contenga cualquier tipo de agregados, ya sean densos, peso ligero o de peso normal (2,000-2,400 kg/m³). El contenido de aire se verifica especialmente en los hormigones donde intencionalmente se ha introducido aire para proteger al hormigón contra el intemperismo.

Uso de aditivos, puede verse modificado en forma total el esquema inicial y, constantemente, el diseñador y/o el constructor se ve en la elevación a replantear las características de un diseño para aprovechar al máximo las ventajas del aditivo pertinentes.

DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE PARTIDA DE LA DOSIFICACIÓN.

El tipo de cemento y las características de los agregados, deben ser definidos por el usuario de acuerdo a las características de la obra, en base a los siguientes criterios:

Tipo de Cemento.

Se considera el tipo de cemento, principalmente atendiendo las condiciones a las cuales estará expuesto el hormigón, así como las necesidades de mezclas masivas y de alta resistencia temprana, debido a las condiciones iniciales de obra necesarias en el proyecto.

En nuestro medio generalmente se utiliza el cemento Portland Tipo IP, el mismo que de acuerdo a nuestras pruebas de laboratorio presenta características de resistencias altas a tempranas edades, (0,7 f'c).

El cemento a utilizarse presenta condiciones óptimas de fabricación, está completamente seco y suelto debe estar inalterado y no presenta grumos debido a un fraguado anticipado o un inadecuado almacenamiento.

Características de los Agregados.

Considerando que los agregados conforman el cuerpo del hormigón conjuntamente con el cemento, es necesario conocer, de manera amplia, las propiedades de los agregados utilizados en el hormigón a diseñarse.

Se realizaron, por este motivo, los ensayos pertinentes con el fin de conocer las propiedades de los materiales, además la determinación de una buena graduación de los agregados, da hormigones de buenas características y con mejor economía.

Se tienen definidos dos tipos de agregados según la norma INEN-694 (ASTM-C33) de acuerdo al tamaño de las partículas; agregado grueso (tamaño mayor a 5mm) y agregados fino (tamaño entre 0.07mm y 5mm). Los materiales pueden ser de origen natural o provenir de un proceso de trituración; orígenes que pueden alterar sus características tanto de adherencia como de resistencia.

Para mejorar la calidad de los hormigones y según la norma INEN-872 (ASTM-C33), es necesario que los agregados se encuentren libres de partículas orgánicas, sales, limos, arcillas, etc., que puedan afectar la reacción química de fraguado o que produzcan deterioro del hormigón, con porosidades indeseables o una fragilidad a las condiciones climáticas a las que se encuentre sometida la mezcla, deben ser duros, resistentes, durables y de buena granulometría.

Dependiendo del tipo de hormigón a diseñarse, seleccionaremos el tipo de agregado, considerando todas sus características, tanto de tamaño, densidad, porosidad, origen, etc.

Agua.

El agua en general es potable y cumple con las siguientes condiciones:

- No debe contener materia orgánica y debe estar libre de sustancias que afecten o impidan el proceso de hidratación del cemento

- El agua debe tener un pH inferior a 5, el agua no debe ser ácida.
- No debe contener sulfatos.

En general el agua a utilizar para mezclas de hormigón no debe contener sustancias que interfieran en el proceso normal de hidratación del cemento, como aceites, ácidos, sales, álcalis.

De acuerdo a la norma ASTM-C109, se aprobará el agua propuesta si la resistencia promedio de morteros de cemento alcanza por lo menos el 95% de la resistencia obtenida al preparar el mortero con agua destilada, en nuestro medio es aceptable utilizar el agua potable de Quito según experimentaciones anteriores.

Aditivos:

En nuestro caso no se utilizó ningún tipo de aditivo para tener resultados de aplicación generalizada; en caso de utilizar algún tipo de aditivo, debido a las necesidades de la obra, se deberá considerar las alteraciones que se pueden presentar en la mezcla.

4.2 MÉTODO DE DISEÑO: A.C.I. 211.1

El método del American Concrete Institute (A.C.I.) se basa en tablas empíricas mediante las cuales se determinan las condiciones de partida y la dosificación.

Este procedimiento considera nueve pasos para el proporcionamiento de mezclas de hormigón normal, incluidos el ajuste por humedad de los agregados y la corrección a las mezclas de prueba.

1. Selección del asentamiento, cuando este no se especifica el informe del A.C.I. incluye una tabla en la que se recomiendan diferentes valores de asentamiento de acuerdo con el tipo de construcción que se requiera.
2. Selección del tamaño máximo del agregado, por consideraciones económicas es preferible el mayor tamaño disponible, siempre y cuando se utilice una trabajabilidad adecuada y el procedimiento de compactación permite que el hormigón sea colado sin cavidades o vacíos.

3. La cantidad de agua que se requiere para producir un determinado asentamiento depende del tamaño máximo, de la forma y granulometría de los agregados, la temperatura del hormigón, la cantidad de aire incluido y el uso de aditivos químicos, considerando hormigón sin y con aire incluido.
4. El A.C.I. proporciona una tabla con los valores de la relación agua/cemento de acuerdo con la resistencia a la compresión a los 28 días que se requiera, por supuesto la resistencia promedio seleccionada debe exceder la resistencia especificada con un margen suficiente para mantener dentro de los límites especificados.
5. La cantidad de cemento se calcula con la cantidad de agua, determinada en el paso tres, y la relación agua cemento, obtenida en el paso cuatro; cuando se requiera un contenido mínimo de cemento o los requisitos de durabilidad lo especifiquen, la mezcla se deberá basar en un criterio que conduzca a una cantidad mayor de cemento.
6. El A.C.I. maneja una tabla con el volumen del agregado grueso por volumen unitario de hormigón, los valores dependen del tamaño máximo nominal de la grava y del módulo de finura de la arena.
7. Hasta el paso anterior se tienen estimados todos los componentes del hormigón, excepto el agregado fino, cuya cantidad se calcula por diferencia. Para este séptimo paso, es posible emplear cualquiera de los dos procedimientos siguientes: por peso o por volumen absoluto.
8. Este paso consiste en ajustar las mezclas por humedad de los agregados, el agua que se añade a la mezcla se debe reducir en cantidad igual a la humedad libre contribuida por el agregado, es decir, humedad total menos la absorción.
9. Se refiere a los ajustes a las mezclas de prueba, en las que se debe verificar el peso volumétrico del hormigón, su contenido de aire, la trabajabilidad apropiada mediante el asentamiento y la ausencia de segregación y sangrado, así como las propiedades de acabado. Para correcciones por diferencias en el asentamiento, en el contenido de aire o en el peso unitario del hormigón proporciona una serie de

recomendaciones que ajustan la mezcla de prueba hasta lograr las propiedades especificadas en el hormigón.⁴¹

Tabla N°4.1 Asentamientos Recomendados para Diferentes Tipos de Construcción.

TIPO DE CONSTRUCCIÓN	Asentamiento (mm)	
	Máximo	Mínimo
Fundiciones, paredes, zapatas reforzadas y muros	80	20
Zapatas Simples, Caissons y Muros de Subestructura	80	20
Losas, Vigas y Paredes Reforzadas.	100	20
Columnas de Edificios	100	20
Pavimentos	80	20
Construcción en Masa	50	20

FUENTE: Dosificación de Mezclas, Ing. Raúl Camaniero, Pág. 41

Tabla N° 4.1 Tamaños Máximos del Agregado, Recomendados para Diferentes Tipos de Construcción.

Dimensión Mínima de la Sección (A)	Tamaño Máximo del Agregado(mm)			
	Paredes, vigas y columnas	Muros sin refuerzo	Losas fuertemente armadas	Losas ligeramente armadas
60 a 130	13 a 19	20	20 a 25	19 a 36
150 a 280	19 a 38	38	38	38 a 76
300 a 740	38 a 76	76	38 a 76	76
750 o más.	38 a 76	150	38 a 76	76 a 150

FUENTE: Dosificación de Mezclas, Ing. Raúl Camaniero, Pág. 42

⁴¹ A.C.I., American Concrete Institute. Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural A.C.I. 318S-08. Impreso en U.S.A. Preparado por el Comité A.C.I. 318. Año 2008.

Tabla N° 4.2 Cantidades Aproximadas de Agua de Mezclado que se Requieren para Diferentes Asentamientos y Tamaños Máximos de Agregado Grueso

Asentamiento (mm)	AGUA: litros por m ³ de hormigón para los tamaños indicados (mm)							
	10*	12,5*	20*	25*	38*	50**	75**	150**
Hormigón sin Aire Incluido								
20 a 50	205	200	185	180	160	155	145	125
80 a 100	225	215	200	195	175	170	160	140
150 a 180	240	230	210	205	185	180	170
Cantidad aproximada de aire atrapado, %	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
Hormigón con Aire Incluido								
20 a 50	180	175	165	160	145	140	135	120
80 a 100	200	190	180	175	160	155	150	135
150 a 180	215	205	190	185	170	165	160
Contenido total de aire promedio recomendado para el nivel de exposición - %								
Benigno	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5**v	1.0**v
Moderado	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5**v	3.0**v
Riguroso	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5**v	4.0**v

FUENTE: Dosificación de Mezclas, Ing. Raúl Camaniero, Pág. 43

Estas cantidades de agua de mezclado deben utilizarse para calcular los factores de cemento (sacos de cemento para cada metro cúbico de hormigón) para mezclas de prueba. Son las cantidades máximas para gravas angulares de formas adecuadas cuya graduación está entre los límites de las especificaciones aceptadas.

Si se requiere más agua que la indicada, el factor de cemento calculado con estas cantidades debe incrementarse proporcionalmente para mantener la relación agua/cemento constante, a menos que los ensayos de resistencia de laboratorio indiquen lo contrario.

Si se requiere menos agua que la indicada, el factor de cemento calculado con estas cantidades NO DEBE disminuirse a menos que los ensayos de resistencia en Laboratorio indiquen lo contrario.

Los valores de asentamiento para un hormigón que contenga una grava mayor a 40mm están basados en pruebas efectuadas después de remover las partículas mayores de 40 mm por medio de cribado húmedo.

Tabla N° 4.3 Relaciones Agua/Cemento Máximas Permisibles para Hormigón en Condiciones de Exposición Severa (SI)

Tipo de Estructura	Estructura continúa o frecuente húmeda y expuesta a congelación y deshielo.	Estructura expuesta a agua de mar o Sulfato
Secciones delgada (pasamanos, umbrales, losetas, obras ornamentales) y secciones con menos de 5 mm de recubrimiento de acero	0.45	0.40*
Todas las otras estructuras	0.50	0.45**

NOTAS:

(*) *El hormigón con inclusión de aire debe utilizarse bajo todas las condiciones que contemplen exposición ambiental severa y puede utilizarse bajo condiciones de exposición moderadas para mejorar la trabajabilidad de la mezcla.*

(**) *Si se emplea un cemento resistente a los sulfatos (Tipo II o Tipo V de ASTM-C150), la relación agua/cemento permisible puede ser incrementada en 0,05.*

Tabla N° 4.4 Resistencia a la Compresión de Hormigón basada en la Relación Agua/Cemento Material Cementante (*).

Resistencia a la Compresión a los 28 días en MPa	Relación agua/cemento en peso	
	Hormigón sin inclusión de aire.	Hormigón con inclusión de aire.
45	0.37
40	0.42
35	0.47	0.35
30	0.52	0.43
25	0.56	0.48
22	0.58	0.53

FUENTE: Dosificación de Mezclas, Ing. Raúl Camaniero, Pág. 46

(*) Estas resistencias promedio son para hormigones que contienen no más de los porcentajes de aire incluido y/o aire atrapado indicados en la tabla 2. Para una relación agua/cemento, la resistencia del hormigón se reduce cuando el contenido de agua aumenta. Para contenido de aire mayores que los de la tabla 2, las resistencias serán proporcionalmente menores que las indicadas en esta tabla.

Tabla N° 4.5 Volumen Aparente Seco y Compactado de Agregado Grueso por Unidad de Volumen de Hormigón (*).

Tamaño máximo de la grava(mm)	Volumen de grava seca y compactada por unidad de volumen de hormigón para diferentes módulos de finura de la arena - m ³						
	2.40	2.50	2.60	2.70	2.80	2.90	3.00
10.0	0.50	0.49	0.48	0.47	0.46	0.45	0.44
12.5	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.54	0.53
20.0	0.66	0.65	0.64	0.63	0.62	0.61	0.60
25.0	0.71	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66	0.65
38.0	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70
50.0	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72
75.0	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75
150.0	0.87	0.86	0.85	0.84	0.83	0.82	0.81

FUENTE: Dosificación de Mezclas, Ing. Raúl Camaniero, Pág. 48

(*) Estos volúmenes se basan en agregados en condiciones secos y compactados como se indica en el método ASTM-C29.

Estos volúmenes son seleccionados de las relaciones empíricas para producir hormigones con un grado de trabajabilidad adecuado para construcciones reforzadas comunes. Para hormigones menos trabajables, como el que se requiere para construcción de pavimentos.

DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN PARA 21 MPa.

DATOS:

1. Resistencia: $f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

2. Densidades Reales:

$$\text{DRC} = 2,88 \text{ g/dm}^3$$

$$\text{DRA} = 2,53 \text{ kg/dm}^3$$

$$\text{DRR} = 2,46 \text{ kg/dm}^3$$

3. Densidades Aparentes:

$$\text{DACR} = 1.48 \text{ kg/dm}^3$$

4. Módulo de Finura:

$$\text{MFA} = 2.61$$

$$\text{MFR} = 6.92$$

Fijar Asentamiento en la Tabla N° 1.

$$\text{Asentamiento} = 8 \text{ cm}$$

2. Fijar el Tamaño Máximo del Ripio.

$$1'' \longrightarrow 2,5 \text{ cm}$$

3. Fijar la Cantidad de Agua, Tabla N° 3.

$$W = 195 \text{ kg} * c/m^3$$

$$\% \text{ AIRE} = 1.5 \% \longrightarrow 15 \text{ dm}^3$$

4. Fijar la Relación de Agua/Cemento y la Resistencia a la Compresión del Hormigón, (Tabla dada en el laboratorio UCE)

$$f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2 \longrightarrow W/C = 0,58 \text{ (Ver en Tabla de laboratorio UCE)}$$

5. Determinar la Cantidad de Cemento.

$$C = \frac{W}{a/c}$$

$$C = \frac{195}{0.58}$$

$$C = 336.21 \text{ kg} * c/cm^3$$

1. Determinar el Volumen Real de Ripio.

2.6	0.69	Valor Interpolado
2.61	0.689	
2.7	0.68	

$$\text{Valor Interpolado: } 0,689 \longrightarrow VAR = 689 \text{ dm}^3 * c/m^3 \text{ (ver en tabla N° 6)}$$

$$DAR = \frac{R}{VAR}$$

$$R = 689 * 1.48$$

$$R = 1019.72 \text{ kgs} * c/m^3$$

$$VRR = \frac{R}{DRR}$$

$$VRR = \frac{1019.72}{2.46}$$

$$VRR = 414.52 \text{ dm}^3 * \text{c/m}^3$$

7. Determinar el Volumen Real de Arena.

$$VRA = 1000 - (W + \frac{C}{DRC} + VRR + VAIRE)$$

$$VRA = 1000 - (175 + \frac{336.21}{2.88} + 414.52 + 15)$$

$$VRA = 258.74 \text{ dm}^3 * \text{c/m}^3$$

$$A = VRA * DRA$$

$$A = 258.74 * 2.53$$

$$A = 654.62 \text{ kgs} * \text{c/m}^3$$

Resultado de la Dosificación del Hormigón para $f'c = 21 \text{ MPa}$ por el A.C.I.

	CANTIDAD	DOSIFICACIÓN AL PESO	CANTIDAD
	c/m ³		KG *c/SACO
W	195	0.58	29.00
C	336.21	1.00	50.00
A	654.62	1.95	97.35
R	1019.72	3.03	151.65
Σ	2205.55		



DENSIDAD DEL HORMIGÓN

$$\delta H = 2205.55 \text{ kg/m}^3$$

4.3 MEZCLA DE PRUEBA PARA LA RESISTENCIA ESPECIFICADA INVESTIGADA.

En base a la dosificación inicial determinada en el numeral anterior, se procedió a la elaboración de la Mezcla de Prueba de la Resistencia Especificada, la misma que siguieron las recomendaciones necesarias para la elaboración de mezcla de hormigón, tomando en cuenta que esta se encuentran descritas en la norma ASTM C-172 “Método para Muestrear Mezclas Frescas de Hormigón”.

Como ya se indicó anteriormente, con la dosificación al peso encontrada en el diseño de la mezcla de prueba, se calculó las cantidades de los componentes del hormigón para 10 cilindros, dando un total en peso de 150 kg (tomando como peso inicial de cada cilindro 15 kg.

Se tomó en cuenta también la medida del parámetro del asentamiento ya que este valor nos proporciona información, sobre la mezcla como por ejemplo la trabajabilidad.

A continuación mostramos los resultados que obtuvimos para las dosificaciones de prueba, para las resistencias y métodos de diseño expuestos para esta investigación en las siguientes hojas de resumen.

MÉTODO DEL A.C.I.

Dosificación del Hormigón de $f'c = 21$ MPa.

$$0.58 C + C + 1.95 C + 3.03 C = 150 \text{ Kg}$$

$$C = 22.87 \text{ Kg}$$

Tabla N° 4.6 Cantidades para 10 Cilindros.

MATERIAL	DOSIFICACIÓN	CANTIDADES
	AL PESO	Kg
W	0.58	13.26
C	1.00	22.87
A	1.95	44.53
R	3.03	69.36

Correcciones por Contenido de Humedad

Esta corrección, se la realiza en el momento que se va a elaborar las mezclas en el laboratorio, con el contenido de humedad que tienen los agregados en ese momento. Para lo cual se debe dejar con un día de anticipación a la realización de las mezclas, los agregados tomando el peso y poniendo en el horno para obtener el contenido de humedad ideal para la corrección.

Tabla N° 4.7 Contenido de Humedad.

MUESTRA	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	
N°	ARENA	RIPIO
1	0.42	0.47
2	0.42	0.37
3	0.37	0.36
4	0.32	0.62
5	0.41	0.59
PROMEDIO	0.39	0.48

Una vez encontrados los resultados se procede a realizar la corrección en peso para la mezcla de prueba, como se indica a continuación:

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



CORRECCIÓN POR CONTENIDO DE HUMEDAD

ORIGEN: San Ramón - Provincia de Cotopaxi

Tabla N° 4.8 Cantidades Corregidas por Humedad.

	CANTIDAD	DOSIFICACIÓN AL PESO	PESOS Kg	C.A (%)	C.H (%)	CORRECCION		CANTIDAD CORREGIDA Kg
	c/m ³					%	Kg	
W	195	0.58	13.26				1.58	14.84
C	336.21	1	22.87					22.87
A	654.62	1.95	44.59	0.67	0.39	0.28	0.12	44.47
R	1019.72	3.03	69.28	2.65	0.48	2.17	1.46	67.82

DOSIFICACION CORREGIDA POR ASENTAMIENTO

Tabla N° 4.9 Cantidades Corregidas por Asentamiento.

	PESOS	CORRECCION ASENTAMIENTO	PESOS Kg	DOSIFICACION
	Kg			
W	14.84	0.45	15.29	0.67
C	22.87		22.87	1.00
A	44.47		44.47	1.94
R	67.82		67.82	2.97

4.4 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO

CUADRO DE RESULTADOS.

Las propiedades requeridas para el hormigón fresco depende generalmente del constructor en obra, las cuales está en función de las dimensiones del elemento, tipo de elemento estructural, cuantía del refuerzo, recubrimientos, tecnología puesta en obra, uso de aditivos y tipo de compactación.

Una vez realizada la mezcla, se pueden observar las propiedades que presentó el hormigón fresco; tales como son: la consistencia, trabajabilidad, segregación y la densidad que nos sirven como guía del comportamiento que tendrá a futuro, estas son de gran importancia para su diseño y uso.

Consistencia.

Denominamos consistencia o asentamiento a la mayor o menor facilidad que tiene el hormigón fresco para deformarse o adaptarse a una forma específica, puesto que este es un factor determinante al momento de calcular las cantidades a mezclarse de acuerdo al método utilizado.

La consistencia depende:

- Agua de amasado.
- Tamaño máximo del agregado
- Granulometría
- Forma de los agregados

El ensayo de consistencia se lo realizó de acuerdo a la norma NTE INEN 1578: 2010 (ASTM – C 143 M-00). Esta prueba es indicadora de la docilidad de la mezcla. En la mezcla de prueba de estos hormigones dieron los siguientes valores de asentamientos, como se indica en la siguiente tabla:

Tabla N° 4.10 Valores de Asentamientos.

MÉTODOS	RESISTENCIA	ASENTAMIENTO	CONSISTENCIA
	Kg/cm²	cm	Tipos
A.C.I.	210	6.5	Blanda



Fotografía N° 4.1 Medición del Asentamiento.

Trabajabilidad.

Es la facilidad que tiene el hormigón fresco para ser amasado, manipulado y puesto en obra, con los medios de compactación que se disponga.

La trabajabilidad se clasifica en función de asentamiento para mejorar el hormigón, y puede añadirse agua con la consiguiente disminución de resistencia o se pueden adicionar aditivos plastificantes que no disminuirán su resistencia esperada.

Tabla N° 4.11 Calificación de la Mezcla en Función del Asentamiento.⁴²

Asentamiento cm	Calificación de la Mezcla
0 - 2	Hormigón muy seco, difícil de trabajar, a menos que sea una mezcla rica en cemento.
3 - 5	Hormigón con muy poca humedad, solo se puede manipular por medios mecánicos y compactar con vibradores de alta frecuencia.
6 - 8	Hormigón plástico adecuado para la mayoría de la obras. Se compacta por vibración y si está bien dosificado no habrá segregación.
9 - 12	Hormigón húmedo, adecuado para estructuras densamente armadas, formas complicadas y secciones delgadas. Usualmente empleado para hormigón bombeado. Hay que cuidar la segregación.
13 - 16	Hormigón muy húmedo, se puede aceptar si se han empleado aditivos plastificantes y se verifica que no haya segregación.
Mayores a 16	Hormigón muy fluido. El ensayo en el Cono de Abrams ya no tiene significado. Solo se puede admitir con el empleo de superfluidificantes (Hormigón autonivelante o autocompactante)

“La trabajabilidad, homogeneidad y/o uniformidad fue aceptable para nuestra mezcla, ya que en el momento de la realización se pudo constatar de que cuando se midió el asentamiento correspondiente se obtuvo un valor comprendido entre el rango de 6 a 8 cm”.³⁶

Homogeneidad.

La homogeneidad es aquella donde los componentes del hormigón en cualquier parte de su masa deben estar perfectamente mezclados.

⁴² Camaniero, Raúl, *Dosificación de Mezclas*. Ecuador 2010: Pág. 67.

Se pierde homogeneidad por tres causas:

- Irregularidad en el amasado.
- Exceso de agua.
- Cantidad y tamaño máximo de los agregados gruesos.

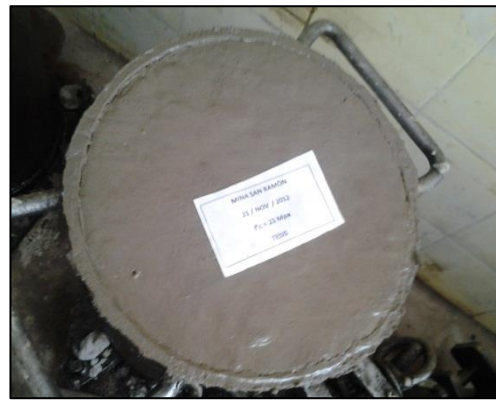
Lo que provoca:

- **SEGREGACIÓN:** Separación de los agregados gruesos y finos.
- **DECANTACIÓN:** Los agregados gruesos van al fondo y los finos se quedan arriba.

Densidad.

Este método nos ayuda para la determinación de la densidad del hormigón fresco, donde se procedió a trabajar con el volumen propio del cilindro durante la mezcla.

Este ensayo se lo realizó de acuerdo a la norma ASTM – C138M.



Fotografía N° 4.2 Cilindros Hormigón Fresco

A continuación se presenta el resumen de las propiedades obtenidas de las mezclas de prueba.

Tabla N° 4.12 Resumen de las Propiedades del Hormigón Fresco.

MÉTODO	f'c	DOSIFICACIÓN AL PESO				PROPIEDADES					
	MPa.	W	C	A	R	Asent	Consist.	Trabaj.	Cohes.	Segreg.	Densid.
						cm	Tipo				gr/cm ³
A.C.I.	21	0.67	1	1.94	2.97	6	Blanda	Buena	Buena	No	2,28

En la tabla adjunta, se presenta las distintas densidades tomadas de las mezclas de prueba respectivamente:

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



DENSIDAD DEL HORMIGÓN FRESCO

ORIGEN: San Ramón – Provincia Cotopaxi

FECHA: Quito, 22/11/2012

Tabla N° 4.13 Resultado de la Densidad del Hormigón Fresco.

CILINDRO	MASA	DIAMETROS				ALTURAS			VOL	DENSIDAD H. FRESCO
	HORMIGON	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_{prom}	h_1	h_2	h_{prom}		
N°	Kg	cm	cm	Cm	cm	cm	cm	cm	cm ³	gr/cm ³
1	12.10	15.2	15.1	15.2	15.2	29.9	30.0	30.0	5410.87	2.24
2	12.60	15.4	15.4	15.4	15.4	29.8	29.9	29.9	5560.01	2.27
3	12.20	15.1	15.1	15.2	15.1	29.8	29.7	29.8	5351.14	2.28
4	12.50	15.3	15.4	15.5	15.4	30.5	30.3	30.4	5662.46	2.21
5	12.60	15.4	15.6	15.5	15.5	29.9	30.0	30.0	5651.32	2.23
6	12.10	14.5	15.0	14.7	14.7	30.1	29.9	30.0	5114.62	2.37
7	12.30	15.0	15.0	15.0	15.0	29.9	30.0	30.0	5292.60	2.32
8	12.30	15.0	15.0	15.2	15.1	30.9	30.8	30.9	5500.21	2.24
9	12.40	14.9	15.1	15.2	15.1	29.7	29.7	29.7	5295.18	2.34
10	12.20	15.0	15.0	15.0	15.0	30.4	30.3	30.4	5363.29	2.27
PROMEDIO										2.28

4.5 RESULTADOS DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN DE LAS MEZCLAS DE PRUEBA A LOS 7 DÍAS.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



RESULTADOS DE ENSAYOS DE CILINDROS DE PRUEBA A LOS 7 DÍAS

ORIGEN: San Ramón – Provincia Cotopaxi

FECHA: Quito, 28/11/2012

Tabla N° 4.14 Resultados de Ensayos de Cilindros de Prueba a los 7 días.

CILINDRO N°	DIAMETRO (mm)	SECCIÓN (mm ²)	RELACION W/C	ASENTAMIENTO (cm)	TIEMPO (Días)	CARGA (N)	CARGA Prom. (N)	ESFUERZO (Mpa)	ESFUERZO Prom. (Mpa)	(%)	(%) (Prom.)
1	149	17436.62	0.58	6.00	7	362756	381450.00	20.80	21.06	99.07	100.27
2	150	17671.46				375005		21.22		101.05	
3	149	17436.62				360038		20.65		98.33	
4	150	17671.46				372363		21.07		100.34	
5	157	19359.28				412782		21.32		101.53	
6	156	19113.45				405756		21.23		101.09	



RESISTENCIA ESTIMADA A LOS 28 DÍAS.

ORIGEN: San Ramón –Provincia Cotopaxi

FECHA: Quito, 28/11/2012

Tabla N° 4.15 Resistencia Estimada a los 28 días.⁴³

MÉTODO	f'c obtenido (σ_7)	ACI - 318	EXPERIMENTAL	ACI (prom)	EXP. (prom)
	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²
ACI	212.10	306.94	318.15	310.48	321.94
	216.38	312.93	324.57		
	210.57	304.80	315.85		
	214.85	310.79	322.28		
	217.40	314.36	326.10		
	216.48	313.08	324.72		

Tabla N° 4.16 Resumen de Resistencia Estimada a los 28 días para f'c = 21 MPa.

MÉTODO	f'c obtenido (σ_7)	ACI - 318	EXPERIMENTAL	OBSERVACION
	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	
ACI	214.63	310.48	321.94	SE ACEPTA

⁴³ CODIGO A.C.I-318, Capítulo 5.6.8 “Estimación de resistencias”

CAPÍTULO V

PROBETAS ESTÁNDAR

La propiedad más importante del hormigón endurecido, es la capacidad de absorber esfuerzos de compresión; esta capacidad se evaluó mediante ensayos de compresión sobre probetas estándar.

Para la fabricación de estas probetas estándar se utilizó moldes metálicos de forma cilíndrica, en donde se vertió el hormigón fresco para obtener un testigo de la misma forma del molde, cuyas dimensiones cumplió con la relación 2:1, entre la altura de la probeta y el diámetro del mismo, teniéndose dos tipos de probetas:

- Probeta N° 1: 15 cm., de diámetro y 30 cm., de altura
- Probeta N° 2: 10 cm., de diámetro y 20 cm., de altura

El uso de estas probetas está en función del tamaño del agregado grueso, es así que para un tamaño nominal máximo menor a 1" (25 mm.), se utiliza la probeta N° 2, mientras que cuando el tamaño nominal máximo sea mayor o igual a 1" se utiliza la probeta N° 1.

Para nuestra investigación, utilizamos la probeta N° 1, ya que el tamaño nominal máximo del agregado de nuestro material es de 1 pulgada.⁴⁴



Fotografía N° 5.1 Molde Cilíndrico para Probetas de Hormigón de 15 x 30 cm.

⁴⁴ <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/245/1/T-UCE-0011-8.pdf>, pág. 163

5.1 MEZCLAS DEFINITIVAS PARA LAS RESISTENCIAS ESPECIFICADAS INVESTIGADAS.

Para poder realizar las mezclas definitivas, se tomó muy en cuenta las dosificaciones de prueba y los resultados de las resistencias que se obtuvieron a los 7 días.

Todas las mezclas dieron resistencias aptas y aceptables a temprana edad y considerando las posibles curvas de tiempo – resistencia, todas pasan el parámetro de resistencia aceptable.

Luego de ensayar todas y cada una de las probetas cilíndricas de hormigón, se procede a adoptar la mezcla idónea o ideal para las mezclas finales que nos garantice resistencias y economía.

Tabla N° 5.1 Dosificación al Peso para las Mezclas Definitivas

	CANTIDAD	DOSIFICACIÓN AL PESO	CANTIDAD
	c/m ³		KG *c/SACO
W	195.00	0.58	29.00
C	336.21	1.00	50.00
A	654.62	1.95	97.35
R	1019.72	3.03	151.65
Σ	2205.55		

5.2 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO TOTAL DE PROBETAS EN LA INVESTIGACIÓN.

Las probetas de hormigón a realizarse en los ensayos deben estar de acuerdo al tamaño del agregado con el cual se realizarán las probetas, en nuestro caso se utilizaron probetas estándar de:

Altura = 300 mm

Diámetro = 150 mm

Que son las medidas utilizadas cuando se realiza la toma de muestras testigo y son las que se determinan en la norma ASTM C-192 “Práctica para fabricar y curar probetas

cilíndricas de hormigón en el Laboratorio” ; con este tipo de muestra se hacen, generalmente , todos los controles de calidad en las construcciones y los resultados que se arrojen en este tipo de molde , son satisfactoria , cuando se decide utilizar otro tipo de moldes u otras dimensiones , así como probetas cubicas , se deberá realizar los cálculos de conversión necesarios para obtener las resistencias a compresión simple.

Es necesario adoptar un número mínimo de probetas estándar de la siguiente manera:

Muestra Pequeña: 10 probetas.

Muestra Grande: mayor o igual a 30 probetas.

Es así que se ha adoptado un número mínimo de 90 probetas estándar para esta investigación, que serán utilizadas de la siguiente forma:

60 probetas estándar para los ensayos a compresión a los 7, 14, 21 y 28 días (15 probetas por cada 7 días).

15 probetas estándar para obtener el Módulo Estático de Elasticidad del Hormigón.

(a los 28 días).

15 probetas estándar de respaldo, en el caso que hubiese algún desperfecto al momento de realizar los ensayos, o en la fabricación de las probetas.

5.3 PROGRAMACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN.

La mejor manera de obtener un hormigón de buena calidad es respetando los procedimientos y especificaciones contempladas tanto con el A.C.I. (Instituto Americano del Concreto) como en el P.C.A. (Asociación del Cemento Portland), ya que nos dan los lineamientos para la selección de los agregados, así como también la elaboración del hormigón se basa en la filosofía de una adecuada resistencia y durabilidad.

Tomando en consideración lo anteriormente expuesto, se procede a realizar las probetas de hormigón con las dosificaciones finales estándar que se obtuvieron anteriormente.

A continuación de las dosificaciones finales se elaboraron las probetas de hormigón, para el efecto se realizaron un amasado mecánico, en este caso se colocó la cantidad de 68.60 kg de cemento en una concreteira.

Debido a que la concreteira tiene una capacidad en peso de aproximadamente 450 Kg de hormigón, (equivalente a 30 cilindros), se elaboró los 90 cilindros estándar en tres paradas de 450 Kg cada una, los cuales están indicados en la tabla siguiente:

Dosificación del Hormigón:

$$0.58 C + C + 1.95 C + 3.03 C = 450 \text{ Kg}$$

$$C = 68.60 \text{ Kg}$$

Tabla N° 5.2 Cantidad de Material para Mezclas Definitivas.

MATERIAL	DOSIFICACIÓN AL PESO	CANTIDADES Kg
W	0.58	39.79
C	1.00	68.60
A	1.95	133.57
R	3.03	208.06
	SUMA	450.00

Tabla N° 5.3 Cantidad de Material para Mezclas Definitivas (3 paradas)

MATERIAL	DOSIFICACIÓN AL PESO	CANTIDADES Kg
W	0.58	119.36
C	1.00	205.80
A	1.95	400.70
R	3.03	624.19
	SUMA	1350.00

CORRECCIONES POR CONTENIDO DE HUMEDAD.

En las mezclas definitivas al igual que en las mezclas de prueba, se tomaron muestras para sacar los contenidos de humedad donde se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla N° 5.4 Resultados del Contenido de Humedad para las Mezclas Definitivas.

MUESTRA	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	
N°	ARENA	RIPIO
1	4.25	2.16
2	4.15	2.24
3	4.35	2.01
4	4.09	2.35
5	4.11	2.64
PROMEDIO	4.19	2.28

Tabla N° 5.5 Corrección del Contenido de Humedad.

	CANTIDAD c/m3	DOSIFICACION AL PESO	PESOS Kg	C.A (%)	C.H (%)	CORRECCION		CANTIDAD CORREGIDA Kg
						%	Kg	
W	195.00	0.58	39.79				3.93	35.86
C	336.31	1.00	68.60					68.60
A	654.62	1.95	133.57	0.67	4.19	3.52	4.68	138.45
R	1019.72	3.03	208.06	2.65	2.28	0.37	0.75	207.11

DOSIFICACION CORREGIDA POR ASENTAMIENTO

Tabla N° 5.6 Cantidades Corregidas por Asentamiento.

MATERIAL	PESOS Kg	CORRECCION ASENTAMIENTO	PESOS Kg	DOSIFICACION
W	35.86	4.87	40.73	0.59
C	68.60		68.60	1.00
A	138.45		138.45	2.02
R	207.11		207.11	3.02

5.4 ELABORACIÓN DE HORMIGONES Y TOMA DE MUESTRAS.

Los materiales que se utilizaron para la elaboración del hormigón para la resistencia se realizaron con la norma NTE INEN 1576:2011.

La medición del asentamiento de cada mezcla definitiva se la realizó con la norma NTE INEN 1578:2010 1R (ASTM C-143), por tanto para la mezcla de hormigón se obtuvieron las siguientes propiedades:

Tabla N° 5.7 Propiedades del Hormigón Fresco de las Mezclas Definitivas.

MÉTODO	f'c	DOSIFICACIÓN AL PESO				PROPIEDADES				
	MPa.	W	C	A	R	Asent	Consist.	Trabaj.	Cohes.	Segreg.
						cm	Tipo			
A.C.I.	21	0.59	1.00	2.02	3.02	6	Blanda	Buena	Buena	No

Una vez concluido estos pasos se procede a fabricar las probetas de hormigón, para nuestra investigación se tomaron 30 probetas por cada parada en la concretera, en total 90 probetas, con su respectiva identificación, esto se lo realizó de acuerdo a la norma NTE INEN 1763:2010 1R.

Después de haber transcurrido 24 horas se procede a su desencofrado y almacenamiento en la cámara de humedad.

5.5 ALMACENAMIENTO DE PROBETAS EN LA CÁMARA DE HUMEDAD.

⁴⁵El propósito de llevar las probetas a la cámara de humedad, es para conservar el agua de mezclado. Este proceso se le conoce como “Curado del Hormigón”, y sirve para mejorar las propiedades del hormigón fraguado, debido a que estas propiedades aumentan rápidamente en edades tempranas y conforme avanza el tiempo, éstas aumentan paulatinamente por un período de tiempo indefinido.

Para someter a las probetas de hormigón recién desencofradas a la cámara de humedad, deberá mantenerse el contenido de humedad permanente y una temperatura constante, con el objetivo de que el hormigón continúe con su proceso de hidratación para así obtener la resistencia especificada.

Las ventajas que se obtiene son:

- Ganar mayor resistencia.
- Mejora la durabilidad.
- Que el hormigón sea más impermeable.

Métodos de curado aplicados en el medio:

- Curado mediante diques de agua.
- Curado mediante nebulización con agua.
- Curado con barreras para el paso de agua.
- Curado con membranas líquidas.

⁴⁵ Alfredo Páez, *Hormigón Armado*, Editorial Reverte S.A., Pág. 284

CAPÍTULO VI

PROGRAMAS DE ENSAYOS

6.1 TOLERANCIA DE TIEMPO PARA LOS ENSAYOS.

Cuando se han cumplido las diferentes edades en la cámara de humedad, esto es a las edades de 7, 14, 21 y 28 días, se evalúa la curva de resistencia versus tiempo. Las muestras para el ensayo que se retiran de la cámara de humedad deberán mantenerse húmedas durante el intervalo, entre la remoción y el ensayo. Los cilindros preparados para la determinación del módulo estático de elasticidad del hormigón serán ensayados a los 28 días. Es recomendable que al momento de preparar los cilindros para los ensayos, estos no estén más de dos horas fuera de la cámara de humedad, esto, por consecuencia de la colocación del capping en la cabeza y pie de los cilindros, que ayuda a la distribución de la carga de compresión en toda el área del cilindro.

6.2 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRAGUADO: DENSIDADES, CONTRACCIÓN, ETC... A LOS 7, 14, 21 Y 28 DÍAS: CUADRO DE RESULTADOS.

DENSIDAD DEL HORMIGÓN FRAGUADO.

⁴⁶La densidad del hormigón fresco es la masa en kg por m³ de hormigón fresco, normalmente compactado, incluyendo los vacíos natural e intencionalmente incorporados.

La densidad del hormigón fresco cae

- a medida que el contenido de agua aumenta
- a medida que aumenta el contenido de vacíos

La densidad del hormigón fresco aumenta

- a medida que el contenido de cemento aumenta

⁴⁶ <http://www.buenastareas.com/materias/definicion-de-concreto-endurecido/0>

- a medida que la relación agua/cemento disminuye
- a medida que el contenido de vacío disminuye

Para este cálculo se realizó la medición en 10 muestras de cilindros para cada resistencia de 7, 14, 21 y 28 días, tomando de cada uno tres diámetros en diferentes posiciones y dos veces la medición de la altura en diferentes lados después con estos datos obtenemos el promedio, con el cual procedemos a hacer el cálculo del volumen, conjuntamente se determinó la masa, pesando los cilindros en la báscula.

Una vez realizados los ensayos y de haber determinado toda la información correspondiente se llegaron a establecer los siguientes resultados:

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



DENSIDAD DEL HORMIGÓN FRAGUADO A LOS 7 DÍAS

ORIGEN: San Ramón – Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 19/12/2012

Tabla N° 6.1 Resultado de la Densidad del Hormigón Fraguado a los 7 días.

CILINDRO	MASA	DIAMETROS				ALTURAS			VOL	DENSIDAD H. FRAGUADO
	HORMIGON	\varnothing_1	\varnothing_2	\varnothing_3	\varnothing_{prom}	h_1	h_2	h_{prom}		
N°	Kg	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm ³	gr/cm ³
1	12.0	15.2	15.1	15.2	15.2	29.9	30.0	30.1	5437.97	2.21
2	12.3	15.4	15.4	15.4	15.4	29.8	30.1	30.0	5578.64	2.20
3	12.4	15.1	15.1	15.2	15.1	29.8	30.0	29.9	5378.12	2.31
4	12.1	15.3	15.4	15.5	15.4	30.5	30.3	30.4	5662.46	2.14
5	12.2	15.4	15.6	15.5	15.5	29.9	30.2	30.1	5670.19	2.15
6	12.3	14.5	15.0	14.7	14.7	30.1	30.3	30.2	5148.72	2.39
7	12.2	15.0	15.0	15.0	15.0	29.9	30.1	30.0	5301.44	2.30
8	12.5	15.0	15.0	15.1	15.0	30.9	30.6	30.8	5458.15	2.29
9	12.6	14.9	15.1	15.2	15.1	29.7	30.1	29.9	5330.84	2.36
10	12.4	15.0	15.0	15.0	15.0	30.4	30.2	30.3	5354.45	2.32
PROMEDIO										2.27

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



DENSIDAD DEL HORMIGÓN FRAGUADO A LOS 14 DÍAS

ORIGEN: San Ramón – Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 26/12/2012

Tabla N° 6.2 Resultado de la Densidad del Hormigón Fraguado a los 14 días.

CILINDRO	MASA	DIAMETROS				ALTURAS			VOL	DENSIDAD H. FRAGUADO
	HORMIGON	\varnothing_1	\varnothing_2	\varnothing_3	\varnothing_{prom}	h_1	h_2	h_{prom}		
N°	Kg	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm ³	gr/cm ³
1	12.2	15.3	15.2	15.2	15.2	30.2	30.4	30.3	5522.33	2.21
2	12.1	15.0	15.0	15.1	15.0	30.0	30.4	30.2	5360.53	2.26
3	12.3	15.4	15.2	15.4	15.3	30.5	30.2	30.4	5604.30	2.19
4	12.0	15.2	15.2	15.1	15.2	30.5	30.0	30.3	5465.07	2.20
5	12.3	15.3	15.2	15.0	15.2	30.2	29.9	30.1	5428.93	2.27
6	12.2	15.3	15.0	15.1	15.1	30.2	30.0	30.1	5414.09	2.25
7	12.3	15.0	14.8	14.9	14.9	30.3	30.0	30.2	5257.14	2.34
8	12.5	15.3	15.0	15.2	15.2	30.2	30.1	30.2	5447.00	2.29
9	12.3	15.5	15.2	15.3	15.3	30.3	30.5	30.4	5613.54	2.19
10	12.6	15.2	14.7	15.0	15.0	30.5	30.4	30.5	5357.07	2.35
PROMEDIO										2.26

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



DENSIDAD DEL HORMIGÓN FRAGUADO A LOS 21 DÍAS

ORIGEN: San Ramón – Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 02/01/2013

Tabla N° 6.3 Resultado de la Densidad del Hormigón Fraguado a los 21 días.

CILINDRO	MASA	DIAMETROS				ALTURAS			VOL	DENSIDAD H. FRAGUADO
	HORMIGON	\varnothing_1	\varnothing_2	\varnothing_3	\varnothing_{prom}	h_1	h_2	h_{prom}		
N°	Kg	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm ³	gr/cm ³
1	12.1	14.6	15.1	14.9	14.9	29.8	29.8	29.8	5172.89	2.34
2	12.1	15.5	15.7	15.0	15.4	30.2	30.4	30.3	5643.83	2.14
3	12.0	15.3	15.0	15.2	15.2	30.1	30.0	30.1	5428.93	2.21
4	12.1	15.0	15.0	15.0	15.0	29.8	29.6	29.7	5248.42	2.31
5	12.4	15.4	15.2	15.2	15.3	30.0	29.8	29.9	5473.30	2.27
6	12.0	15.2	15.3	15.2	15.2	30.1	30.2	30.2	5494.99	2.18
7	12.5	15.2	15.3	15.1	15.2	30.2	30.1	30.2	5470.97	2.28
8	12.6	15.0	15.0	15.1	15.0	30.0	30.0	30.0	5325.03	2.37
9	12.3	15.0	15.8	15.5	15.4	30.2	29.8	30.0	5612.17	2.19
10	12.4	15.4	15.1	15.3	15.3	30.1	30.2	30.2	5519.07	2.25
PROMEDIO										2.25

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



DENSIDAD DEL HORMIGÓN FRAGUADO A LOS 28 DÍAS

ORIGEN: San Ramón – Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 09/01/2013

Tabla N° 6.4 Resultado de la Densidad del Hormigón Fraguado a los 28 días.

CILINDRO	MASA	DIAMETROS				ALTURAS			VOL	DENSIDAD H. FRAGUADO
	HORMIGON	\varnothing_1	\varnothing_2	\varnothing_3	\varnothing_{prom}	h_1	h_2	h_{prom}		
N°	Kg	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm ³	gr/cm ³
1	11.8	14.9	15.0	14.9	14.9	30.0	30.0	30.0	5254.42	2.25
2	12.1	15.1	14.9	15.2	15.1	29.9	30.1	30.0	5348.67	2.26
3	11.9	15.0	14.1	14.9	14.7	30.0	29.8	29.9	5051.54	2.36
4	12.3	15.1	15.3	15.2	15.2	30.7	30.5	30.6	5552.63	2.22
5	12.2	15.1	15.2	15.2	15.2	30.2	30.2	30.2	5456.03	2.24
6	12.1	15.0	15.2	15.0	15.1	30.0	30.1	30.1	5357.58	2.26
7	12.2	15.2	15.2	15.2	15.2	30.0	29.9	30.0	5434.68	2.24
8	12.2	15.3	15.3	15.3	15.3	30.0	30.3	30.2	5543.19	2.20
9	12.3	15.3	15.3	15.3	15.3	30.5	30.1	30.3	5570.77	2.21
10	12.2	15.3	15.2	15.2	15.2	29.9	30.2	30.1	5476.77	2.23
PROMEDIO										2.25

6.3 ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A EDADES DE 7, 14, 21 Y 28 DÍAS.

Una de las principales propiedades del hormigón es su resistencia a la compresión simple, por lo tanto es importante conocer la variación de la misma en función del tiempo, teniendo como base que la resistencia aumenta en gran medida a los 28 días, y después de esto se lo hace en menor porcentaje.

Las probetas estándar que fueron ensayadas aplicando el 60% de la carga de compresión a la rotura, estuvieron preparadas con la pasta capping en sus extremos, tomadas sus dimensiones de altura y diámetro, y se conservaron en la cámara de humedad hasta antes de su respectivo ensayo, siguiendo los procedimientos de las Norma ASTM-C-192M-95 y C-39-96.

La resistencia de cada cilindro se debe calcular dividiendo la carga máxima soportada durante el ensayo para el área del cilindro, obtenida con el promedio de al menos tres diámetros medidos.

A continuación se presenta los resultados obtenidos de los ensayos a los 7, 14, 21 y 28 días respectivamente:

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYOS A COMPRESIÓN PARA DETERMINAR LA CURVA DE RESISTENCIA - NORMA (NTE INEN 1573:2010 1R) ASTM C-39

ORIGEN: San Ramón – Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 19/12/2012

Tabla N° 6.5 Resultados de Ensayos a Compresión a los 7 días.

CILINDRO Nº	DIAMETRO (mm)		SECCIÓN PROM. (mm²)	FECHA		TIEMPO (Días)	CARGA (N)	ESFUERZO	
	Ø ₁	Ø ₂		ELAB.	ENSAYO			(Mpa)	(%)
1	148	150	17436.62	12/12/2012	19/12/2012	7	366240	21.00	100.02
2	151	150	17789.46				299510	16.84	80.17
3	153	151	18145.84				283450	15.62	74.38
4	153	147	17671.46				296600	16.78	79.92
5	150	155	18265.42				306480	16.78	79.90
6	152	152	18145.84				359390	19.81	94.31
7	148	152	17671.46				361760	20.47	97.48
8	148	151	17553.85				388400	22.13	105.36
9	151	149	17671.46				281660	15.94	75.90
10	147	153	17671.46				348860	19.74	94.01
11	148	149	17319.80				323410	18.67	88.92
12	152	152	18145.84				338100	18.63	88.73
13	151	151	17907.86				363980	20.33	96.79
14	151	153	18145.84				352150	19.41	92.41
15	149	149	17436.62				358160	20.54	97.81
							PROM.	18.85	89.74

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYOS A COMPRESIÓN PARA DETERMINAR LA CURVA DE RESISTENCIA - NORMA (NTE INEN 1573:2010 1R) ASTM C-39

ORIGEN: San Ramón – Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 26/12/2012

Tabla N° 6.6 Resultados de Ensayos a Compresión a los 14 días.

CILINDRO Nº	DIAMETRO (mm)		SECCIÓN PROM. (mm²)	FECHA		TIEMPO (Días)	CARGA (N)	ESFUERZO	
	Ø ₁	Ø ₂		ELAB.	ENSAYO			(Mpa)	(%)
1	153	152	18265.42	12/12/2012	26/12/2012	14	483270	26.46	125.99
2	150	150	17671.46				484700	27.43	130.61
3	154	152	18385.39				452160	24.59	117.11
4	152	152	18145.84				455470	25.10	119.53
5	153	150	18026.65				411660	22.84	108.74
6	150	148	17436.62				434240	24.90	118.59
7	153	150	18026.65				481810	26.73	127.27
8	155	152	18505.75				453510	24.51	116.70
9	152	147	17553.85				461930	26.32	125.31
10	150	150	17671.46				446710	25.28	120.37
11	150	152	17907.86				461410	25.77	122.69
12	150	152	17907.86				486620	27.17	129.40
13	151	151	17907.86				497590	27.79	132.31
14	153	152	18265.42				451480	24.72	117.70
15	149	153	17907.86				436120	24.35	115.97
							PROM.	25.60	121.89

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYOS A COMPRESIÓN PARA DETERMINAR LA CURVA DE RESISTENCIA - NORMA (NTE INEN 1573:2010 1R) ASTM C-39

ORIGEN: San Ramón – Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 04/01/2013

Tabla N° 6.7 Resultados de Ensayos a Compresión a los 21 días.

CILINDRO Nº	DIAMETRO (mm)		SECCIÓN PROM. (mm²)	FECHA		TIEMPO (Días)	CARGA (N)	ESFUERZO	
	Ø ₁	Ø ₂		ELAB.	ENSAYO			(Mpa)	(%)
1	146	151	17319.80	12/12/2012	02/01/2013	21	479700	27.70	131.89
2	155	157	19113.45				529700	27.71	131.97
3	153	150	18026.65				420790	23.34	111.16
4	150	150	17671.46				475980	26.93	128.26
5	154	152	18385.39				458060	24.91	118.64
6	152	153	18265.42				524700	28.73	136.79
7	152	153	18265.42				529960	29.01	138.16
8	150	158	18626.50				520170	27.93	132.98
9	154	151	18265.42				488010	26.72	127.23
10	153	154	18505.75				504350	27.25	129.78
11	152	148	17671.46				506170	28.64	136.40
12	151	151	17907.86				528980	29.54	140.66
13	152	148	17671.46				468960	26.54	126.37
14	153	150	18026.65				475200	26.36	125.53
15	150	150	17671.46				431120	24.40	116.17
							PROM.	27.05	128.80

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYOS A COMPRESIÓN PARA DETERMINAR LA CURVA DE RESISTENCIA - NORMA (NTE INEN 1573:2010 1R) ASTM C-39

ORIGEN: San Ramón – Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 11/01/2013

Tabla N° 6.8 Resultados de Ensayos a Compresión a los 28 días.

CILINDRO Nº	DIAMETRO (mm)		SECCIÓN PROM. (mm²)	FECHA		TIEMPO (Días)	CARGA (N)	ESFUERZO	
	Ø ₁	Ø ₂		ELAB.	ENSAYO			(Mpa)	(%)
1	151	149	17671.46	12/12/2012	09/12/2012	28	531160	30.06	143.13
2	153	150	18026.65				519400	28.81	137.20
3	152	151	18026.65				482160	26.75	127.37
4	148	149	17319.80				504700	29.14	138.76
5	151	150	17789.46				509600	28.65	136.41
6	157	155	19113.45				526260	27.53	131.11
7	149	150	17553.85				509600	29.03	138.24
8	155	155	18869.19				552720	29.29	139.49
9	151	146	17319.80				488040	28.18	134.18
10	152	151	18026.65				521360	28.92	137.72
11	153	151	18145.84				530180	29.22	139.13
12	153	153	18385.39				522340	28.41	135.29
13	152	151	18026.65				524300	29.08	138.50
14	151	149	17671.46				522340	29.56	140.75
15	154	152	18385.39				528220	28.73	136.81
16	151	151	17907.86				510580	28.51	135.77
							PROM.	28.74	136.87



RESUMEN DE ENSAYOS A COMPRESIÓN PARA DETERMINAR LA CURVA DE RESISTENCIA - NORMA (NTE INEN 1573:2010 1R) ASTM C-39

ORIGEN: San Ramón – Provincia de Cotopaxi

FECHA: Quito, 15/01/2013

Tabla N° 6.9 Resumen de Ensayos a Compresión.

TIEMPO (Días)	RESISTENCIA f'_c	
	(%)	(MPa)
0	0.00	0.00
7	89.74	18.85
14	121.89	25.60
21	128.80	27.05
28	136.87	28.74

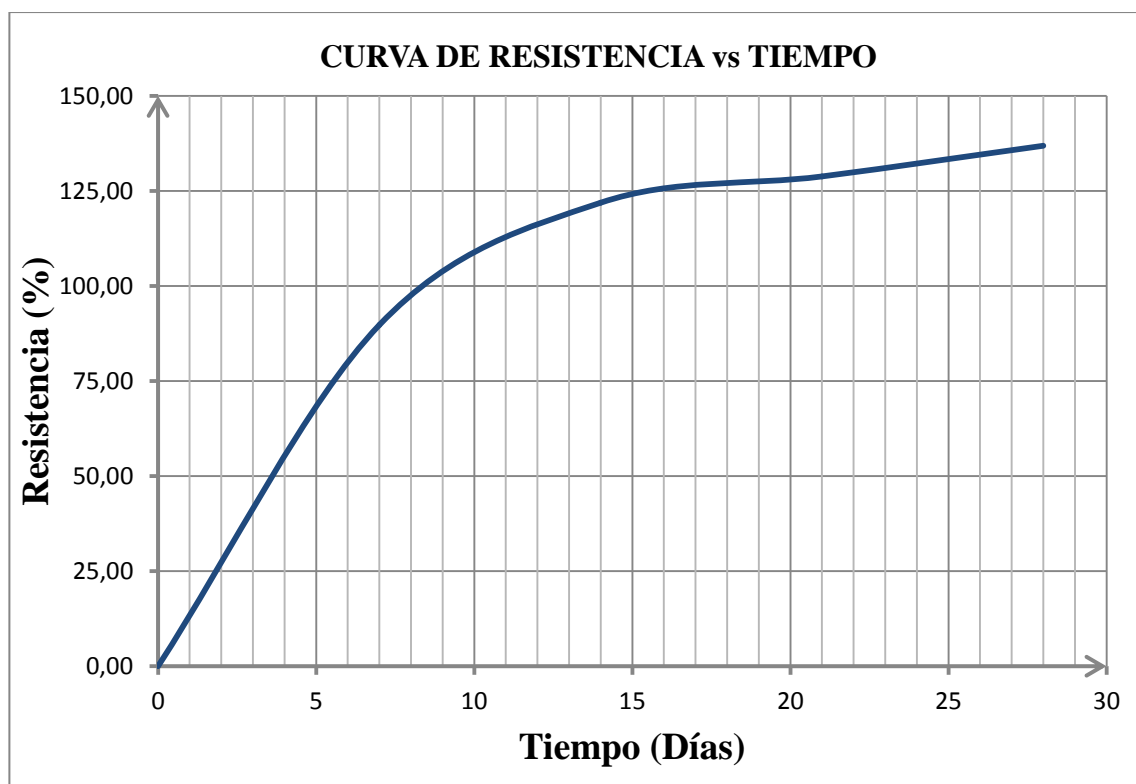


FIGURA N° 6.1 Curva de Resistencia vs Tiempo

6.4 VERIFICACIÓN Y PREPARACIÓN DE EQUIPOS PARA MEDIR LAS DEFORMACIONES DEL HORMIGÓN A TRAVÉS DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN.

Para determinar el Módulo Estático de Elasticidad del hormigón, mediante ensayos de compresión con medidas de deformación, es necesario determinar las variaciones de deformación longitudinal que sufre el hormigón en intervalos simultáneos de carga, para dicho efecto se utilizó el compresómetro y la máquina universal, se procede de la siguiente manera:

Compresómetro.

Es un dispositivo que permite determinar las características de deformación y elongación de especímenes de hormigón. Puede medirse tanto la deformación axial y transversal, bajo la aplicación de la carga. Su empleo no se recomienda hasta su rotura.

Es un instrumento de precisión, compuesto por dos collarines, los cuales se ubican de forma concéntrica en el sentido transversal del cilindro; estos dos collarines están unidos por un instrumento llamado deformímetro (reloj comparador) cuya apreciación es de una milésima de milímetro, permitiendo obtener lecturas de los desplazamientos verticales entre los dos collarines. Es importante tomar en cuenta que, las deformaciones no lleguen a la rotura del cilindro ya que se conoce que la falla del hormigón sometido a cargas de compresión es explosiva, por lo que, podríamos dañar el instrumento.



Fotografía N° 6.2 Cilindro de Pruebas en los Acoples de los Anillos y Deformímetro colocado en la Máquina Universal de 100 Ton.

La longitud efectiva recomendada entre los dos collarines es de 15 centímetros aproximadamente para cilindros estándar de 15 centímetros de diámetro y 30 centímetros de altura. La disposición en el sentido longitudinal del cilindro debe estar comprendida en el tercio medio de la altura total del cilindro.

Los datos obtenidos de la máquina universal y el compresómetro, permiten obtener un diagrama de carga vs deformación específica cuya pendiente es el Módulo Elástico de Elasticidad del Hormigón.

Maquina Universal.

En ingeniería se denomina máquina universal a una máquina semejante a una prensa con la que es posible someter materiales a ensayos de tracción y compresión para medir sus propiedades. La presión se logra mediante placas o mandíbulas accionadas por tornillos o un sistema hidráulico. Esta máquina es ampliamente utilizada en la caracterización de nuevos materiales.

Para la aplicación de carga a los cilindros de prueba se puede utilizar cualquier tipo de máquina de ensayo capaz de imponer una carga a tal velocidad y a la magnitud indicadas, de tal manera que aplicando carga sea preferentemente continuo y evitando el impacto a una velocidad constante, este requerimiento está dada por la norma ASTM E-4 y para la calibración ASTM E-74.

6.5 ANÁLISIS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VS DEFORMACIÓN ESPECÍFICA A LA EDAD DE 28 DÍAS.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYOS A COMPRESIÓN PARA DETERMINAR EL ESFUERZO vs DEFORMACIÓN ESPECÍFICA, NORMA: ASTM C-469-94

Tabla N° 6.10 Resultados de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días

N° cilindro: E-1

Lo: 150 mm

Diámetro: 154 mm

L: 300 mm

Área: 18626.50 mm²

Carga de Rotura: 531702 N

Resistencia Máxima: 28.55 Mpa

40% Resistencia Máxima: 11.42 MPa

N°	CARGA		DEFORMACION (1x10 ⁻³ mm/mm)		ESFUERZO	DEFORMACIÓN ESPECÍFICA (1x10 ⁻⁶ mm/mm)
	Kg	KN	Lectura	Real	Mpa	
1	0	0	0	0.00	0.00	0.00
2	1200	12	9	4.50	0.64	30.00
3	2400	24	18	9.00	1.29	60.00
4	3600	36	29	14.50	1.93	96.67
5	4800	48	36	18.00	2.58	120.00
6	6000	60	48	24.00	3.22	160.00
7	7200	72	57	28.50	3.87	190.00
8	8400	84	68	34.00	4.51	226.67
9	9600	96	78	39.00	5.15	260.00
10	10800	108	87	43.50	5.80	290.00
11	12000	120	99	49.50	6.44	330.00
12	13200	132	108	54.00	7.09	360.00
13	14400	144	120	60.00	7.73	400.00
14	15600	156	131	65.50	8.38	436.67
15	16800	168	140	70.00	9.02	466.67
16	18000	180	152	76.00	9.66	506.67
17	19200	192	162	81.00	10.31	540.00
18	20400	204	178	89.00	10.95	593.33
19	21600	216	191	95.50	11.60	636.67
20	22800	228	204	102.00	12.24	680.00
21	24000	240	216	108.00	12.88	720.00
22	25200	252	227	113.50	13.53	756.67
23	26400	264	241	120.50	14.17	803.33
24	27600	276	253	126.50	14.82	843.33
25	28800	288	271	135.50	15.46	903.33
26	30000	300	282	141.00	16.11	940.00
27	31200	312	297	148.50	16.75	990.00
28	32400	324	315	157.50	17.39	1050.00
29	33600	336	332	166.00	18.04	1106.67
30	34800	348	348	174.00	18.68	1160.00
31	36000	360	367	183.50	19.33	1223.33
32	37200	372	385	192.50	19.97	1283.33
33	38400	384	400	200.00	20.62	1333.33
34	39600	396	432	216.00	21.26	1440.00
35	40800	408	462	231.00	21.90	1540.00
36	42000	420	502	251.00	22.55	1673.33

ENSAYO DE COMPRESIÓN.

Nº cilindro: E-1

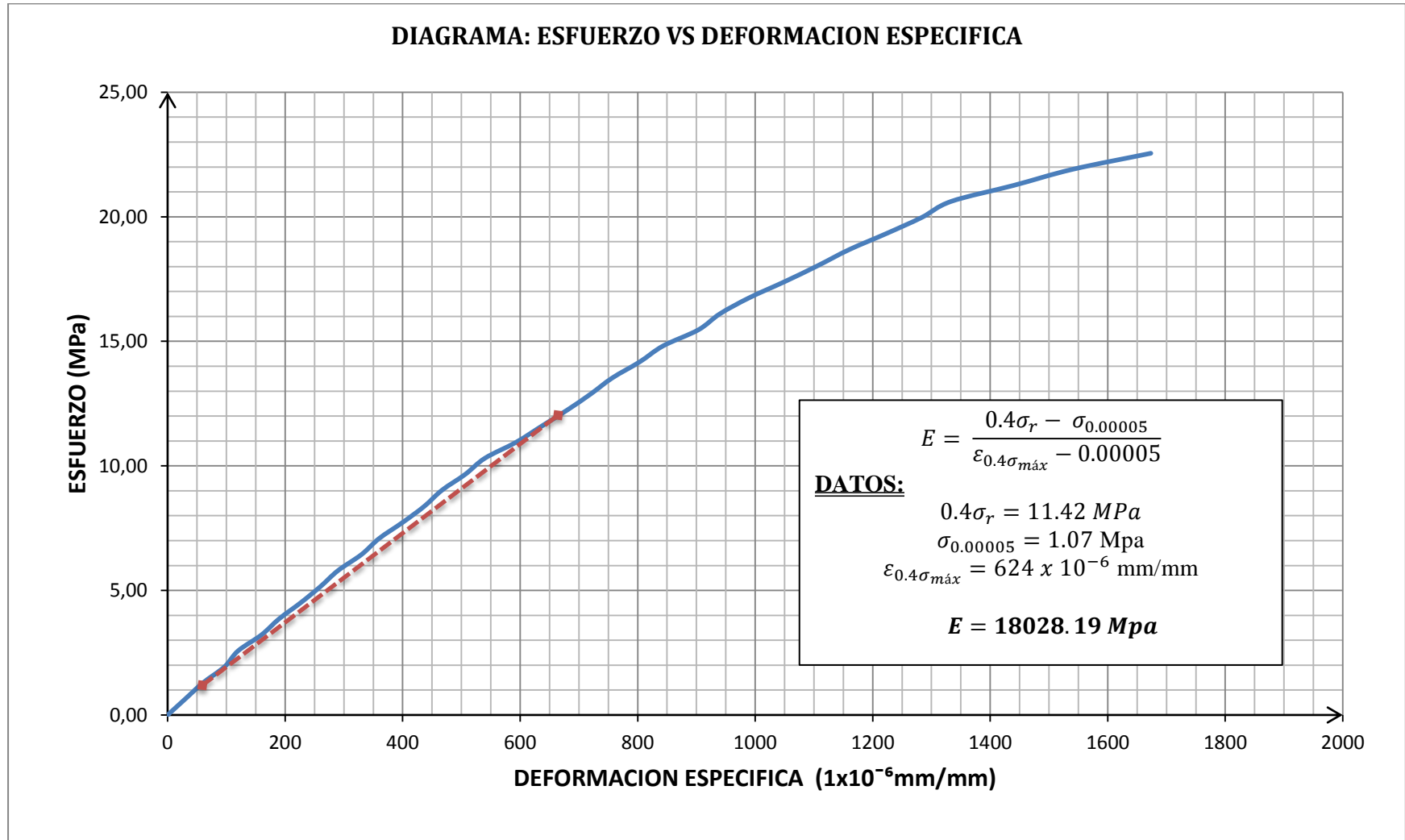


FIGURA Nº 6.3 Curva de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYOS A COMPRESIÓN PARA DETERMINAR EL ESFUERZO vs DEFORMACIÓN ESPECÍFICA, NORMA: ASTM C-469-94

Tabla N° 6.11 Resultados de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.

N° cilindro: E-2

Área: 18869.19 mm²

Lo: 150 mm

Carga de Rotura: 519930 N

Diámetro: 155.0 mm

Resistencia Máxima: 27.55 Mpa

L: 300 mm

40% Resistencia Máxima: 11.02 MPa

N°	CARGA		DEFORMACION (1x10 ⁻³ mm/mm)		ESFUERZO	DEFORMACIÓN ESPECÍFICA (1x10 ⁻⁶ mm/mm)
	Kg	KN	Lectura	Real	Mpa	
1	0	0	0	0.00	0.00	0.00
2	1200	12	9	4.50	0.64	30.00
3	2400	24	18	9.00	1.27	60.00
4	3600	36	30	15.00	1.91	100.00
5	4800	48	37	18.50	2.54	123.33
6	6000	60	49	24.50	3.18	163.33
7	7200	72	57	28.50	3.82	190.00
8	8400	84	68	34.00	4.45	226.67
9	9600	96	78	39.00	5.09	260.00
10	10800	108	87	43.50	5.72	290.00
11	12000	120	99	49.50	6.36	330.00
12	13200	132	108	54.00	7.00	360.00
13	14400	144	120	60.00	7.63	400.00
14	15600	156	131	65.50	8.27	436.67
15	16800	168	140	70.00	8.90	466.67
16	18000	180	152	76.00	9.54	506.67
17	19200	192	162	81.00	10.18	540.00
18	20400	204	180	90.00	10.81	600.00
19	21600	216	191	95.50	11.45	636.67
20	22800	228	203	101.50	12.08	676.67
21	24000	240	215	107.50	12.72	716.67
22	25200	252	228	114.00	13.36	760.00
23	26400	264	241	120.50	13.99	803.33
24	27600	276	252	126.00	14.63	840.00
25	28800	288	271	135.50	15.26	903.33
26	30000	300	282	141.00	15.90	940.00
27	31200	312	298	149.00	16.53	993.33
28	32400	324	315	157.50	17.17	1050.00
29	33600	336	333	166.50	17.81	1110.00
30	34800	348	350	175.00	18.44	1166.67
31	36000	360	369	184.50	19.08	1230.00
32	37200	372	386	193.00	19.71	1286.67
33	38400	384	400	200.00	20.35	1333.33
34	39600	396	425	212.50	20.99	1416.67
35	40800	408	455	227.50	21.62	1516.67
36	42000	420	486	243.00	22.26	1620.00

Nº cilindro E-2

ENSAYO DE COMPRESIÓN.

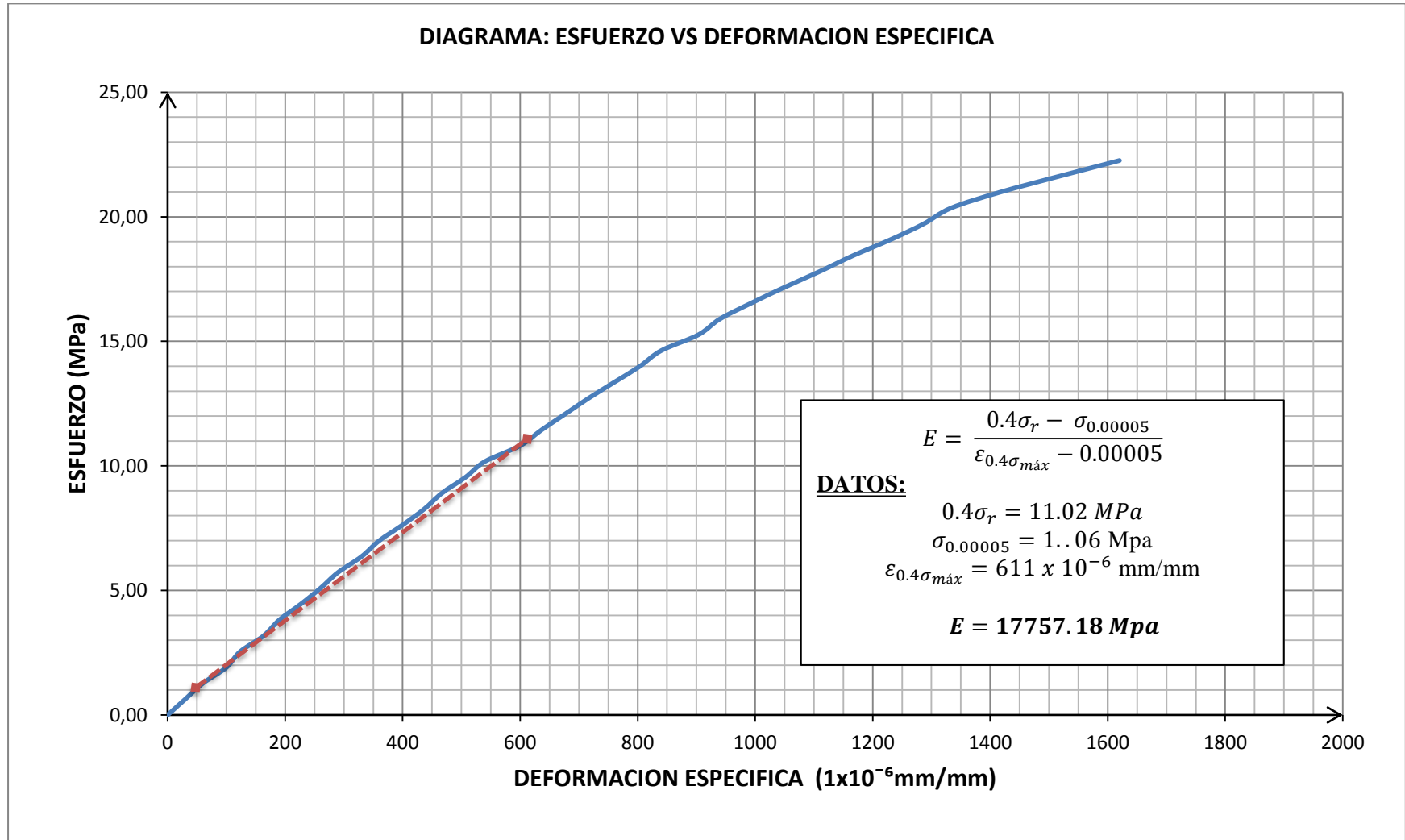


FIGURA Nº 6.4 Curva de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.



ENSAYOS A COMPRESIÓN PARA DETERMINAR EL ESFUERZO vs DEFORMACIÓN ESPECÍFICA, NORMA: ASTM C-469-94

Tabla N° 6.12 Resultados de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.

N° cilindro: E-3

Lo: 150 mm

Diámetro: 151.5 mm

L: 300 mm

Área: 18026.65 mm²

Carga de Rotura: 482652 N

Resistencia Máxima: 26.77 Mpa

40% Resistencia Máxima: 10.71 MPa

N°	CARGA		DEFORMACION (1x10 ⁻³ mm/mm)		ESFUERZO	DEFORMACIÓN ESPECÍFICA
	Kg	KN	Lectura	Real	Mpa	(1x10 ⁻⁶ mm/mm)
1	0	0	0	0.00	0.00	0.00
2	1200	12	6	3.00	0.67	20.00
3	2400	24	14	7.00	1.33	46.67
4	3600	36	23	11.50	2.00	76.67
5	4800	48	32	16.00	2.66	106.67
6	6000	60	43	21.50	3.33	143.33
7	7200	72	52	26.00	3.99	173.33
8	8400	84	62	31.00	4.66	206.67
9	9600	96	72	36.00	5.33	240.00
10	10800	108	85	42.50	5.99	283.33
11	12000	120	96	48.00	6.66	320.00
12	13200	132	108	54.00	7.32	360.00
13	14400	144	119	59.50	7.99	396.67
14	15600	156	130	65.00	8.65	433.33
15	16800	168	144	72.00	9.32	480.00
16	18000	180	154	77.00	9.99	513.33
17	19200	192	167	83.50	10.65	556.67
18	20400	204	178	89.00	11.32	593.33
19	21600	216	190	95.00	11.98	633.33
20	22800	228	204	102.00	12.65	680.00
21	24000	240	215	107.50	13.31	716.67
22	25200	252	226	113.00	13.98	753.33
23	26400	264	240	120.00	14.64	800.00
24	27600	276	253	126.50	15.31	843.33
25	28800	288	268	134.00	15.98	893.33
26	30000	300	282	141.00	16.64	940.00
27	31200	312	295	147.50	17.31	983.33
28	32400	324	310	155.00	17.97	1033.33
29	33600	336	325	162.50	18.64	1083.33
30	34800	348	343	171.50	19.30	1143.33
31	36000	360	360	180.00	19.97	1200.00
32	37200	372	378	189.00	20.64	1260.00
33	38400	384	400	200.00	21.30	1333.33
34	39600	396	425	212.50	21.97	1416.67
35	40800	408	457	228.50	22.63	1523.33
36	42000	420	487	243.50	23.30	1623.33

Nº cilindro E-3

ENSAYO DE COMPRESIÓN.

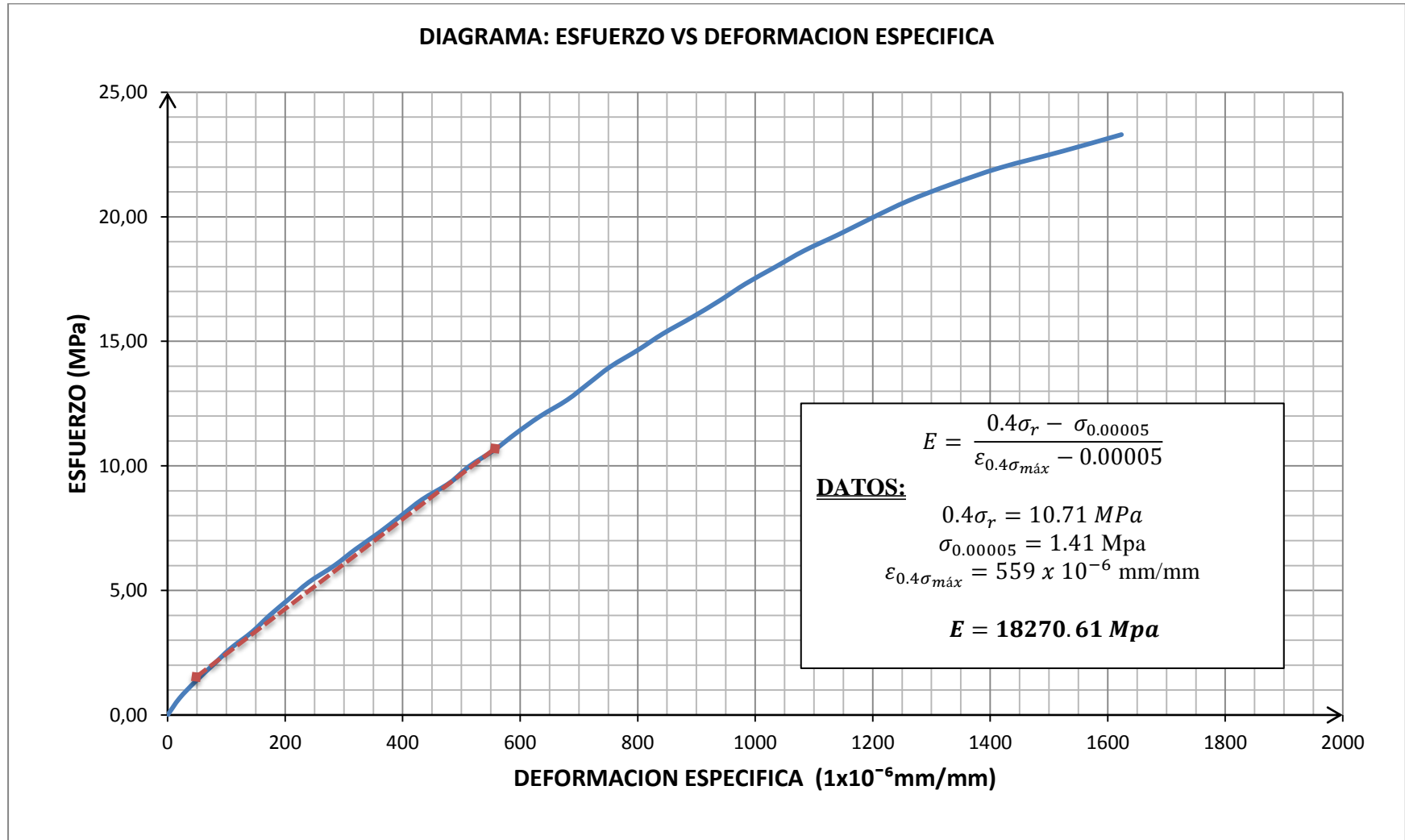


FIGURA Nº 6.5 Curva de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYOS A COMPRESIÓN PARA DETERMINAR EL ESFUERZO vs DEFORMACIÓN ESPECÍFICA, NORMA: ASTM C-469-94

Tabla N° 6.13 Resultados de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.

N° cilindro: E-4

Lo: 150 mm

Diámetro: 153.5 mm

L: 300 mm

Área: 18505.75 mm²

Carga de Rotura: 505215 N

Resistencia Máxima: 27.30 Mpa

40% Resistencia Máxima: 10.92 MPa

N°	CARGA		DEFORMACION (1x10 ⁻³ mm/mm)		ESFUERZO	DEFORMACIÓN ESPECÍFICA (1x10 ⁻⁶ mm/mm)
	Kg	KN	Lectura	Real	Mpa	
1	0	0	0	0.00	0.00	0.00
2	1200	12	11	5.50	0.65	36.67
3	2400	24	20	10.00	1.30	66.67
4	3600	36	28	14.00	1.95	93.33
5	4800	48	37	18.50	2.59	123.33
6	6000	60	47	23.50	3.24	156.67
7	7200	72	57	28.50	3.89	190.00
8	8400	84	67	33.50	4.54	223.33
9	9600	96	76	38.00	5.19	253.33
10	10800	108	87	43.50	5.84	290.00
11	12000	120	98	49.00	6.48	326.67
12	13200	132	108	54.00	7.13	360.00
13	14400	144	120	60.00	7.78	400.00
14	15600	156	130	65.00	8.43	433.33
15	16800	168	143	71.50	9.08	476.67
16	18000	180	156	78.00	9.73	520.00
17	19200	192	168	84.00	10.38	560.00
18	20400	204	178	89.00	11.02	593.33
19	21600	216	190	95.00	11.67	633.33
20	22800	228	205	102.50	12.32	683.33
21	24000	240	219	109.50	12.97	730.00
22	25200	252	228	114.00	13.62	760.00
23	26400	264	243	121.50	14.27	810.00
24	27600	276	261	130.50	14.91	870.00
25	28800	288	274	137.00	15.56	913.33
26	30000	300	287	143.50	16.21	956.67
27	31200	312	298	149.00	16.86	993.33
28	32400	324	310	155.00	17.51	1033.33
29	33600	336	330	165.00	18.16	1100.00
30	34800	348	350	175.00	18.80	1166.67
31	36000	360	371	185.50	19.45	1236.67
32	37200	372	390	195.00	20.10	1300.00
33	38400	384	405	202.50	20.75	1350.00
34	39600	396	423	211.50	21.40	1410.00
35	40800	408	451	225.50	22.05	1503.33
36	42000	420	489	244.50	22.70	1630.00

ENSAYO DE COMPRESIÓN.

Nº cilindro E-4

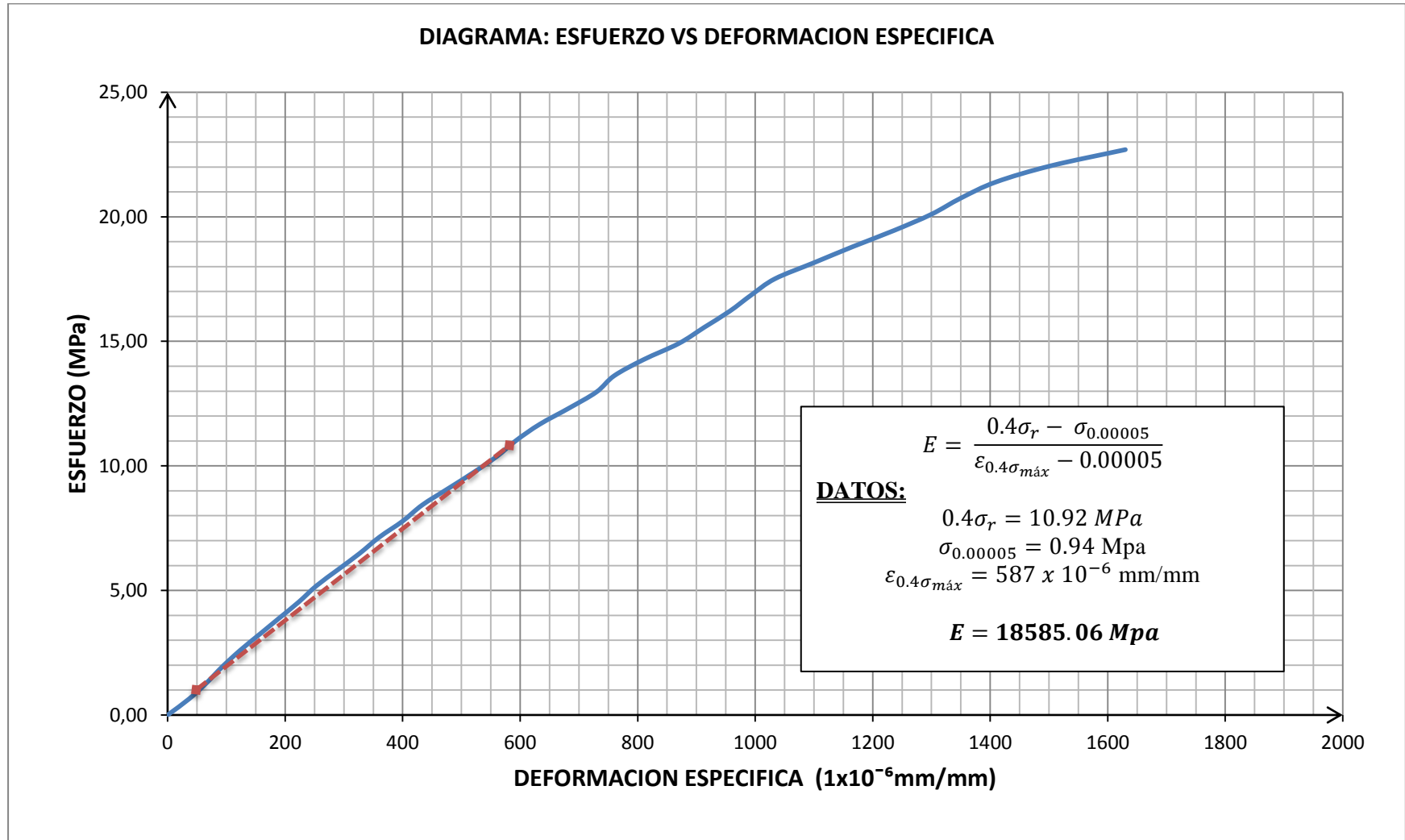


FIGURA Nº 6.6 Curva de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.



ENSAYOS A COMPRESIÓN PARA DETERMINAR EL ESFUERZO vs DEFORMACIÓN ESPECÍFICA, NORMA: ASTM C-469-94

Tabla N° 6.14 Resultados de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.

N° cilindro: E-5

Lo: 150 mm

Diámetro: 150.5 mm

L: 300 mm

Área: 17789.46 mm²

Carga de Rotura: 510120 N

Resistencia Máxima: 28.68 Mpa

40% Resistencia Máxima: 11.47 MPa

N°	CARGA		DEFORMACION (1x10 ⁻³ mm/mm)		ESFUERZO	DEFORMACIÓN ESPECÍFICA (1x10 ⁻⁶ mm/mm)
	Kg	KN	Lectura	Real	Mpa	
1	0	0	0	0.00	0.00	0.00
2	1200	12	9	4.50	0.67	30.00
3	2400	24	18	9.00	1.35	60.00
4	3600	36	27	13.50	2.02	90.00
5	4800	48	36	18.00	2.70	120.00
6	6000	60	45	22.50	3.37	150.00
7	7200	72	55	27.50	4.05	183.33
8	8400	84	65	32.50	4.72	216.67
9	9600	96	76	38.00	5.40	253.33
10	10800	108	85	42.50	6.07	283.33
11	12000	120	97	48.50	6.75	323.33
12	13200	132	107	53.50	7.42	356.67
13	14400	144	116	58.00	8.09	386.67
14	15600	156	132	66.00	8.77	440.00
15	16800	168	142	71.00	9.44	473.33
16	18000	180	152	76.00	10.12	506.67
17	19200	192	165	82.50	10.79	550.00
18	20400	204	176	88.00	11.47	586.67
19	21600	216	190	95.00	12.14	633.33
20	22800	228	201	100.50	12.82	670.00
21	24000	240	211	105.50	13.49	703.33
22	25200	252	225	112.50	14.17	750.00
23	26400	264	238	119.00	14.84	793.33
24	27600	276	256	128.00	15.51	853.33
25	28800	288	267	133.50	16.19	890.00
26	30000	300	280	140.00	16.86	933.33
27	31200	312	301	150.50	17.54	1003.33
28	32400	324	315	157.50	18.21	1050.00
29	33600	336	330	165.00	18.89	1100.00
30	34800	348	344	172.00	19.56	1146.67
31	36000	360	357	178.50	20.24	1190.00
32	37200	372	370	185.00	20.91	1233.33
33	38400	384	387	193.50	21.59	1290.00
34	39600	396	410	205.00	22.26	1366.67
35	40800	408	435	217.50	22.93	1450.00
36	42000	420	462	231.00	23.61	1540.00

ENSAYO DE COMPRESIÓN

Nº cilindro: E-5

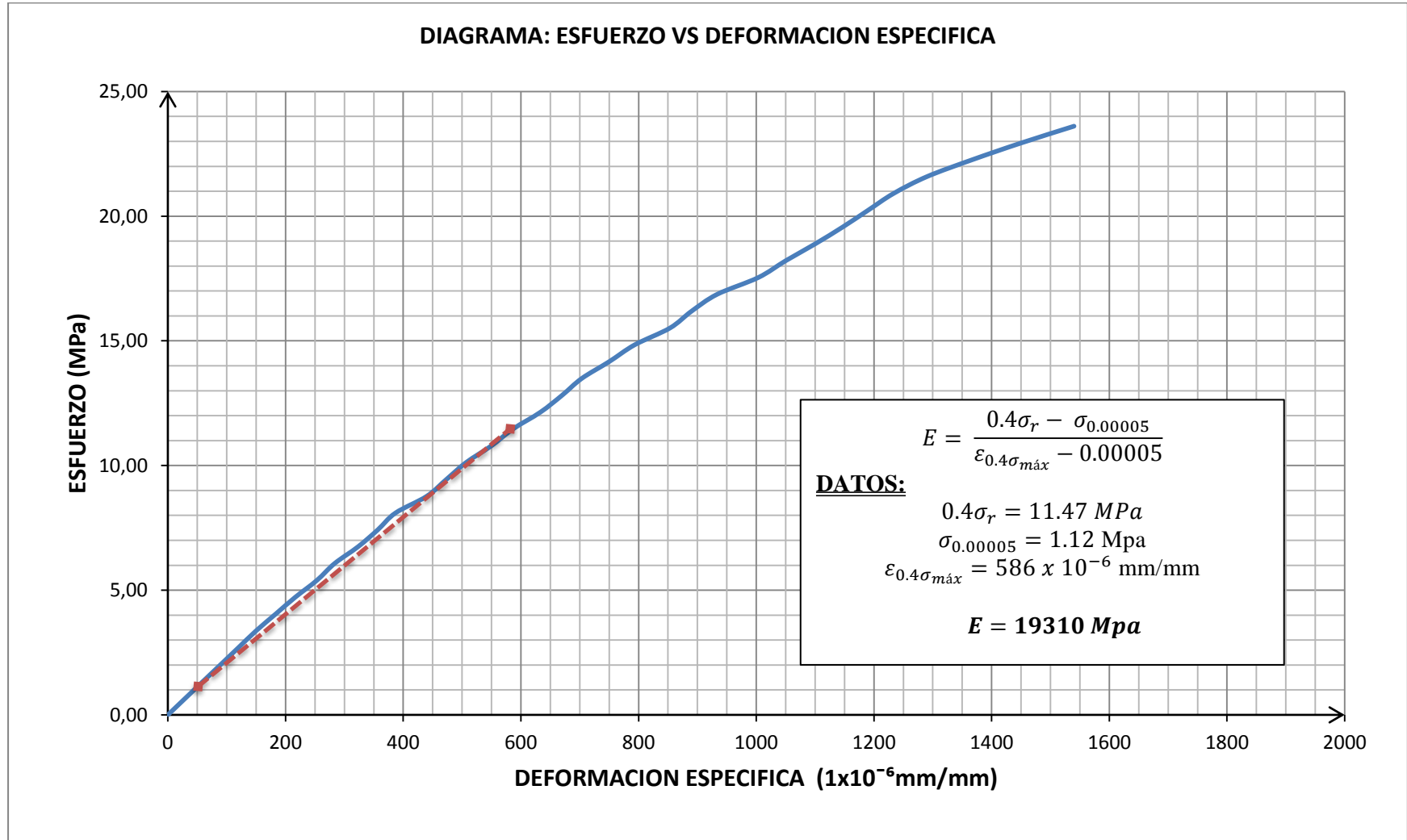


FIGURA Nº 6.7 Curva de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYOS A COMPRESIÓN PARA DETERMINAR EL ESFUERZO vs DEFORMACIÓN ESPECÍFICA, NORMA: ASTM C-469-94

Tabla N° 6.15 Resultados de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.

N° cilindro: E-6

Lo: 150 mm

Diámetro: 151.0 mm

L: 300 mm

Área: 17907.86 mm²

Carga de Rotura: 526797 N

Resistencia Máxima: 29.42 Mpa

40% Resistencia Máxima: 11.77 MPa

N°	CARGA		DEFORMACION (1x10 ⁻³ mm/mm)		ESFUERZO	DEFORMACIÓN ESPECÍFICA (1x10 ⁻⁶ mm/mm)
	Kg	KN	Lectura	Real	Mpa	
1	0	0	0	0.00	0.00	0.00
2	1200	12	7	3.50	0.67	23.33
3	2400	24	14	7.00	1.34	46.67
4	3600	36	21	10.50	2.01	70.00
5	4800	48	30	15.00	2.68	100.00
6	6000	60	39	19.50	3.35	130.00
7	7200	72	48	24.00	4.02	160.00
8	8400	84	60	30.00	4.69	200.00
9	9600	96	71	35.50	5.36	236.67
10	10800	108	85	42.50	6.03	283.33
11	12000	120	98	49.00	6.70	326.67
12	13200	132	106	53.00	7.37	353.33
13	14400	144	120	60.00	8.04	400.00
14	15600	156	131	65.50	8.71	436.67
15	16800	168	142	71.00	9.38	473.33
16	18000	180	155	77.50	10.05	516.67
17	19200	192	170	85.00	10.72	566.67
18	20400	204	184	92.00	11.39	613.33
19	21600	216	198	99.00	12.06	660.00
20	22800	228	212	106.00	12.73	706.67
21	24000	240	224	112.00	13.40	746.67
22	25200	252	235	117.50	14.07	783.33
23	26400	264	248	124.00	14.74	826.67
24	27600	276	263	131.50	15.41	876.67
25	28800	288	277	138.50	16.08	923.33
26	30000	300	289	144.50	16.75	963.33
27	31200	312	300	150.00	17.42	1000.00
28	32400	324	315	157.50	18.09	1050.00
29	33600	336	332	166.00	18.76	1106.67
30	34800	348	351	175.50	19.43	1170.00
31	36000	360	367	183.50	20.10	1223.33
32	37200	372	384	192.00	20.77	1280.00
33	38400	384	402	201.00	21.44	1340.00
34	39600	396	418	209.00	22.11	1393.33
35	40800	408	438	219.00	22.78	1460.00
36	42000	420	467	233.50	23.45	1556.67

Nº cilindro: E-6

ENSAYO DE COMPRESIÓN.

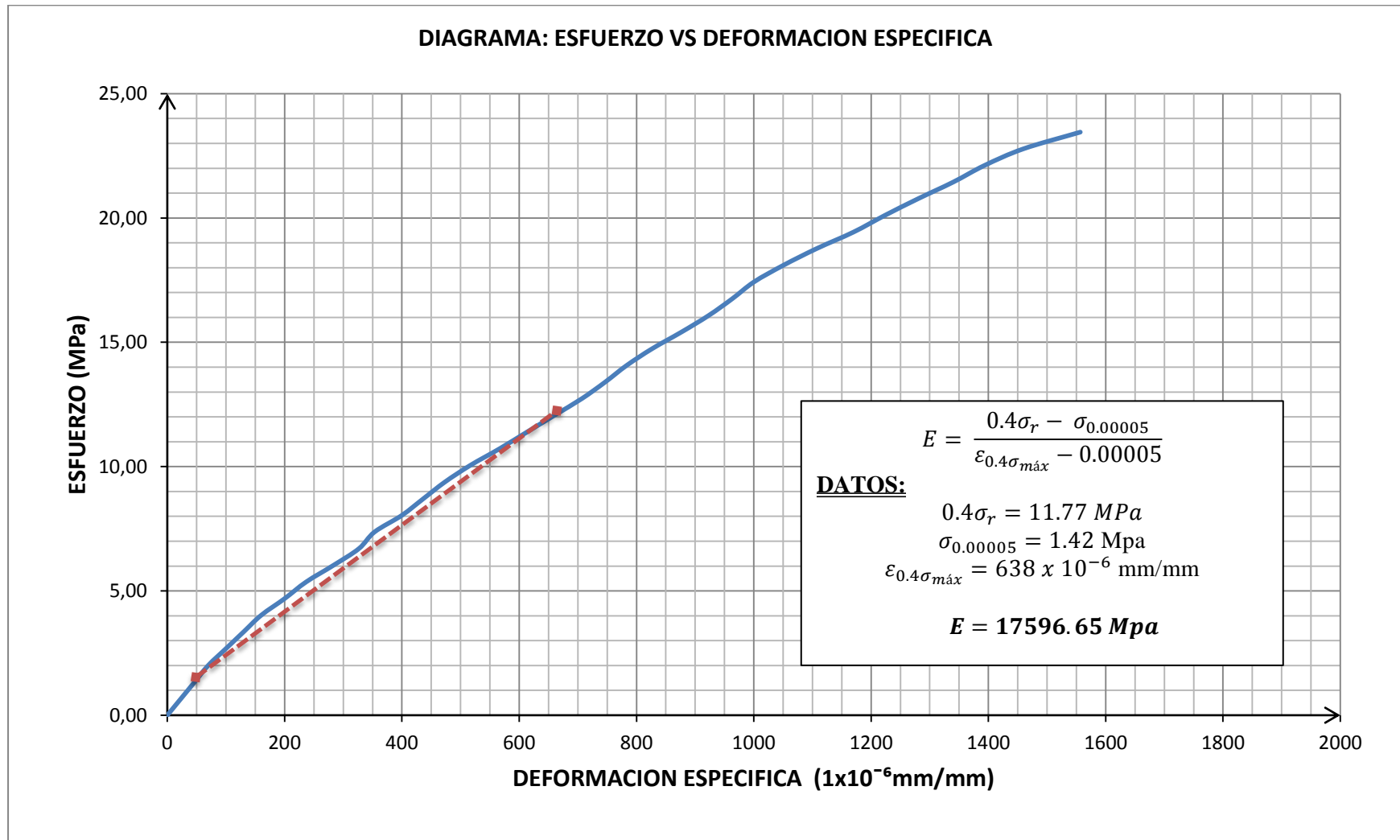


FIGURA Nº 6.8 Curva de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYOS A COMPRESIÓN PARA DETERMINAR EL ESFUERZO vs DEFORMACIÓN ESPECÍFICA, NORMA: ASTM C-469-94

Tabla N° 6.16 Resultados de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.

N° cilindro: E-7

Área: 17553.85 mm²

Lo: 150 mm

Carga de Rotura: 510120 N

Diámetro: 149.5 mm

Resistencia Máxima: 29.06 Mpa

L: 300 mm

40% Resistencia Máxima: 11.62 MPa

N°	CARGA		DEFORMACION (1x10 ⁻³ mm/mm)		ESFUERZO	DEFORMACIÓN ESPECÍFICA (1x10 ⁻⁶ mm/mm)
	Kg	KN	Lectura	Real	Mpa	
1	0	0	0	0.00	0.00	0.00
2	1200	12	5	2.50	0.68	16.67
3	2400	24	11	5.50	1.37	36.67
4	3600	36	21	10.50	2.05	70.00
5	4800	48	29	14.50	2.73	96.67
6	6000	60	40	20.00	3.42	133.33
7	7200	72	50	25.00	4.10	166.67
8	8400	84	58	29.00	4.79	193.33
9	9600	96	69	34.50	5.47	230.00
10	10800	108	79	39.50	6.15	263.33
11	12000	120	90	45.00	6.84	300.00
12	13200	132	103	51.50	7.52	343.33
13	14400	144	114	57.00	8.20	380.00
14	15600	156	125	62.50	8.89	416.67
15	16800	168	137	68.50	9.57	456.67
16	18000	180	148	74.00	10.25	493.33
17	19200	192	160	80.00	10.94	533.33
18	20400	204	172	86.00	11.62	573.33
19	21600	216	189	94.50	12.30	630.00
20	22800	228	200	100.00	12.99	666.67
21	24000	240	217	108.50	13.67	723.33
22	25200	252	233	116.50	14.36	776.67
23	26400	264	243	121.50	15.04	810.00
24	27600	276	256	128.00	15.72	853.33
25	28800	288	277	138.50	16.41	923.33
26	30000	300	297	148.50	17.09	990.00
27	31200	312	307	153.50	17.77	1023.33
28	32400	324	330	165.00	18.46	1100.00
29	33600	336	343	171.50	19.14	1143.33
30	34800	348	357	178.50	19.82	1190.00
31	36000	360	369	184.50	20.51	1230.00
32	37200	372	384	192.00	21.19	1280.00
33	38400	384	401	200.50	21.88	1336.67
34	39600	396	421	210.50	22.56	1403.33
35	40800	408	449	224.50	23.24	1496.67
36	42000	420	479	239.50	23.93	1596.67

Nº cilindro: E-7

ENSAYO DE COMPRESIÓN.

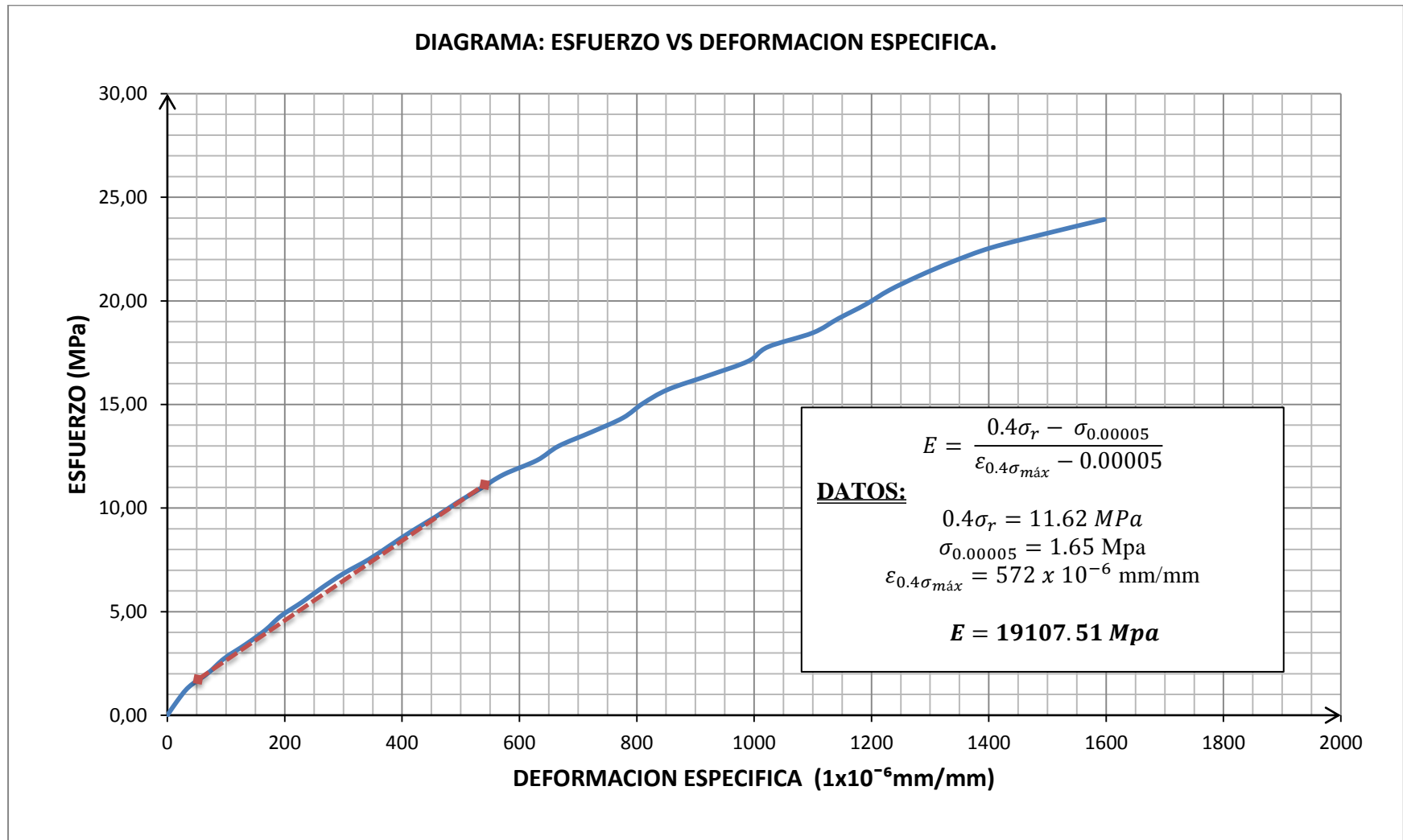


FIGURA N° 6.9 Curva de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYOS A COMPRESIÓN PARA DETERMINAR EL ESFUERZO vs DEFORMACIÓN ESPECÍFICA, NORMA: ASTM C-469-94

Tabla N° 6.17 Resultados de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.

N° cilindro: E-8

Lo: 150 mm

Diámetro: 152.5 mm

L: 300 mm

Área: 18265.42 mm²

Carga de Rotura: 553284 N

Resistencia Máxima: 30.29 Mpa

40% Resistencia Máxima: 12.12 MPa

N°	CARGA		DEFORMACION (1x10 ⁻³ mm/mm)		ESFUERZO	DEFORMACIÓN ESPECÍFICA (1x10 ⁻⁶ mm/mm)
	Kg	KN	Lectura	Real	Mpa	
1	0	0	0	0.00	0.00	0.00
2	1200	12	4	2.00	0.66	13.33
3	2400	24	10	5.00	1.31	33.33
4	3600	36	18	9.00	1.97	60.00
5	4800	48	25	12.50	2.63	83.33
6	6000	60	33	16.50	3.28	110.00
7	7200	72	43	21.50	3.94	143.33
8	8400	84	52	26.00	4.60	173.33
9	9600	96	61	30.50	5.26	203.33
10	10800	108	73	36.50	5.91	243.33
11	12000	120	82	41.00	6.57	273.33
12	13200	132	93	46.50	7.23	310.00
13	14400	144	104	52.00	7.88	346.67
14	15600	156	114	57.00	8.54	380.00
15	16800	168	125	62.50	9.20	416.67
16	18000	180	135	67.50	9.85	450.00
17	19200	192	145	72.50	10.51	483.33
18	20400	204	155	77.50	11.17	516.67
19	21600	216	170	85.00	11.83	566.67
20	22800	228	179	89.50	12.48	596.67
21	24000	240	191	95.50	13.14	636.67
22	25200	252	204	102.00	13.80	680.00
23	26400	264	216	108.00	14.45	720.00
24	27600	276	229	114.50	15.11	763.33
25	28800	288	239	119.50	15.77	796.67
26	30000	300	252	126.00	16.42	840.00
27	31200	312	268	134.00	17.08	893.33
28	32400	324	281	140.50	17.74	936.67
29	33600	336	295	147.50	18.40	983.33
30	34800	348	308	154.00	19.05	1026.67
31	36000	360	325	162.50	19.71	1083.33
32	37200	372	341	170.50	20.37	1136.67
33	38400	384	360	180.00	21.02	1200.00
34	39600	396	382	191.00	21.68	1273.33
35	40800	408	401	200.50	22.34	1336.67
36	42000	420	419	209.50	22.99	1396.67

ENSAYO DE COMPRESIÓN.

Nº cilindro: E-8

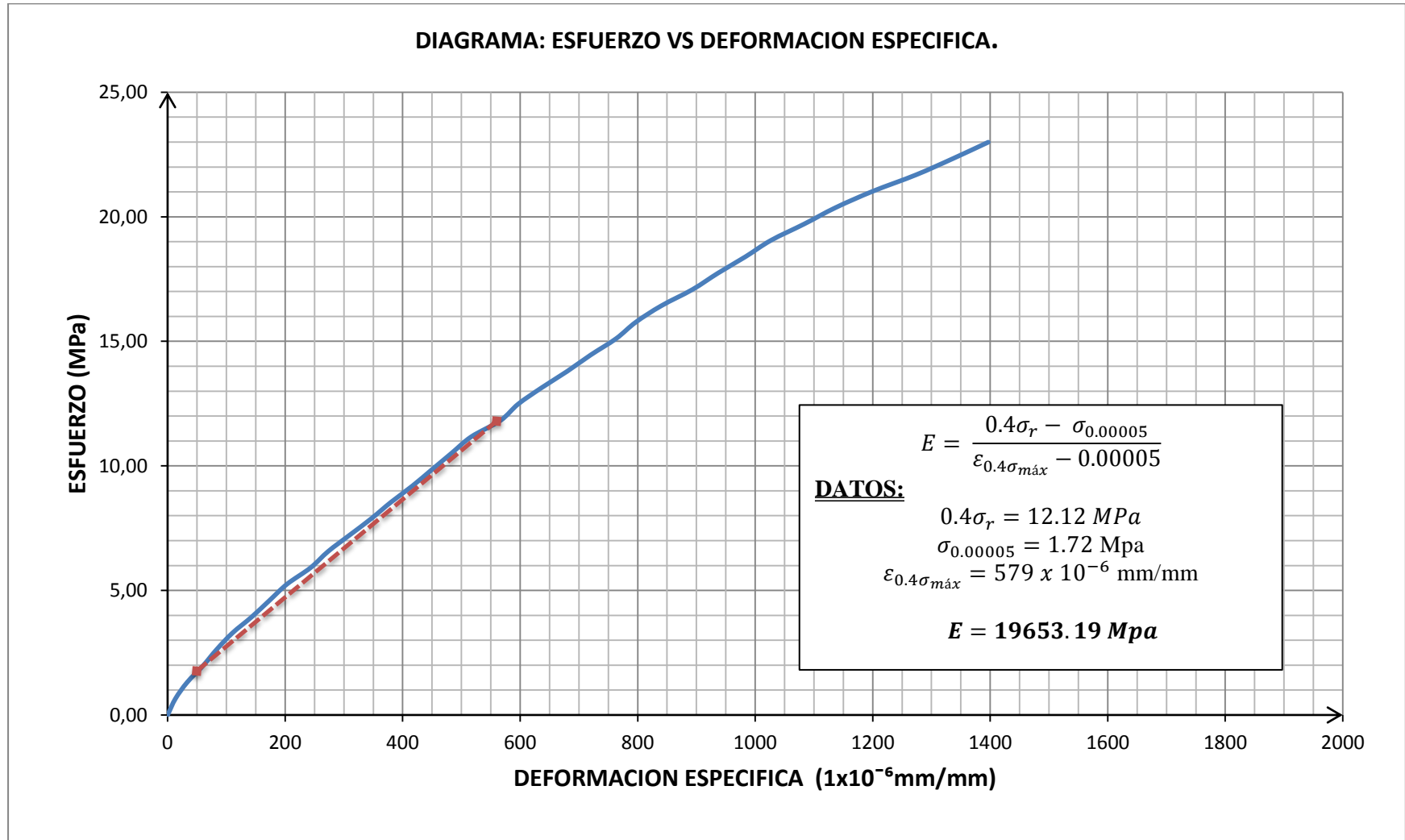


FIGURA Nº 6.10 Curva de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYOS A COMPRESIÓN PARA DETERMINAR EL ESFUERZO vs DEFORMACIÓN ESPECÍFICA, NORMA: ASTM C-469-94

Tabla N° 6.18 Resultados de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.

N° cilindro: E-9

Lo: 150 mm

Diámetro: 150.5 mm

L: 300 mm

Área: 17789.46 mm²

Carga de Rotura: 488538 N

Resistencia Máxima: 27.46 Mpa

40% Resistencia Máxima: 10.98 MPa

N°	CARGA		DEFORMACION (1x10 ⁻³ mm/mm)		ESFUERZO	DEFORMACIÓN ESPECÍFICA (1x10 ⁻⁶ mm/mm)
	Kg	KN	Lectura	Real	Mpa	
1	0	0	0	0.00	0.00	0.00
2	1200	12	8	4.00	0.67	26.67
3	2400	24	14	7.00	1.35	46.67
4	3600	36	23	11.50	2.02	76.67
5	4800	48	33	16.50	2.70	110.00
6	6000	60	43	21.50	3.37	143.33
7	7200	72	53	26.50	4.05	176.67
8	8400	84	64	32.00	4.72	213.33
9	9600	96	74	37.00	5.40	246.67
10	10800	108	89	44.50	6.07	296.67
11	12000	120	96	48.00	6.75	320.00
12	13200	132	108	54.00	7.42	360.00
13	14400	144	119	59.50	8.09	396.67
14	15600	156	130	65.00	8.77	433.33
15	16800	168	144	72.00	9.44	480.00
16	18000	180	154	77.00	10.12	513.33
17	19200	192	167	83.50	10.79	556.67
18	20400	204	180	90.00	11.47	600.00
19	21600	216	194	97.00	12.14	646.67
20	22800	228	208	104.00	12.82	693.33
21	24000	240	223	111.50	13.49	743.33
22	25200	252	238	119.00	14.17	793.33
23	26400	264	254	127.00	14.84	846.67
24	27600	276	267	133.50	15.51	890.00
25	28800	288	285	142.50	16.19	950.00
26	30000	300	309	154.50	16.86	1030.00
27	31200	312	321	160.50	17.54	1070.00
28	32400	324	337	168.50	18.21	1123.33
29	33600	336	361	180.50	18.89	1203.33
30	34800	348	375	187.50	19.56	1250.00
31	36000	360	405	202.50	20.24	1350.00
32	37200	372	420	210.00	20.91	1400.00
33	38400	384	438	219.00	21.59	1460.00
34	39600	396	477	238.50	22.26	1590.00
35	40800	408	501	250.50	22.93	1670.00
36	42000	420	532	266.00	23.61	1773.33

Nº cilindro: E-9

ENSAYO DE COMPRESIÓN.

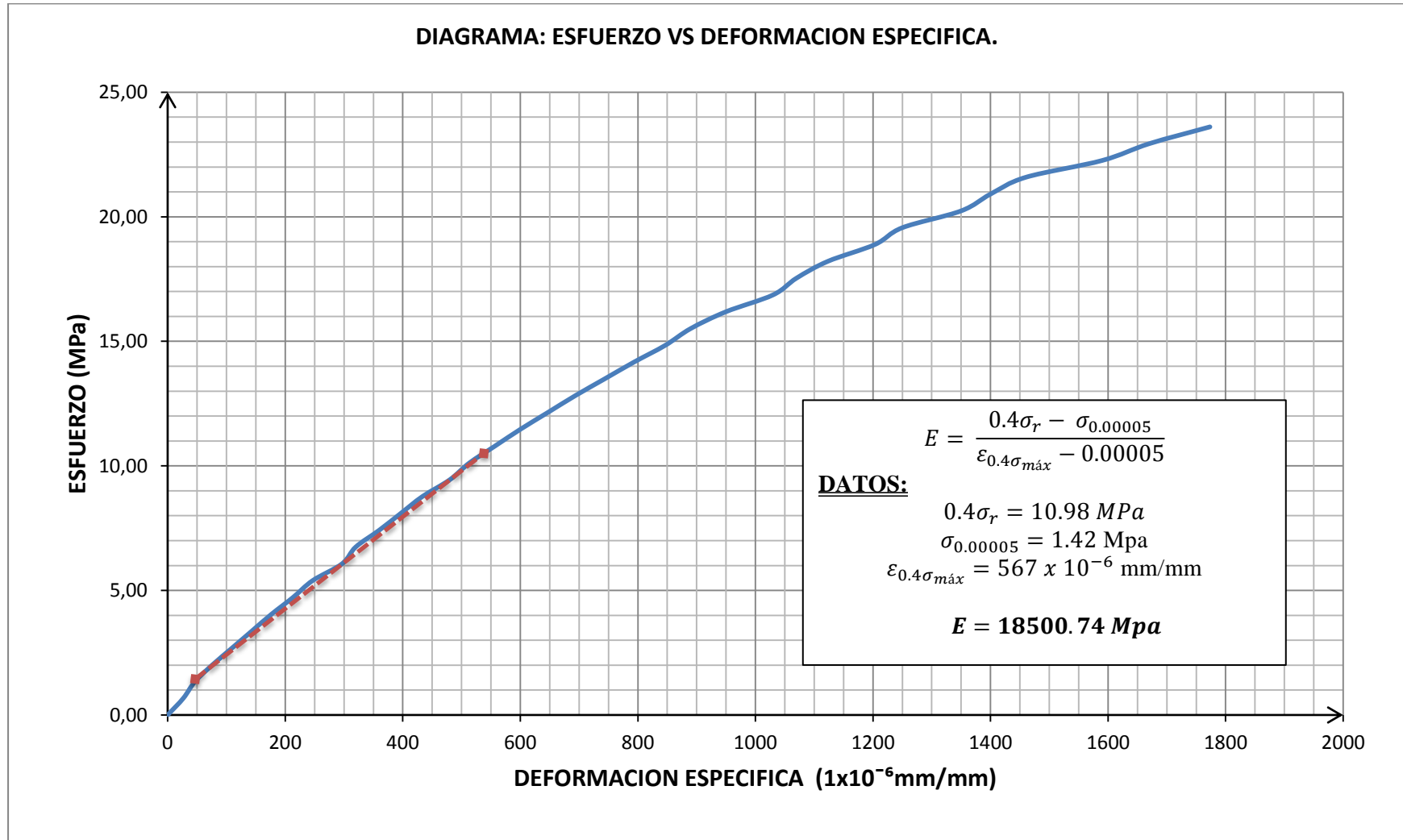


FIGURA N° 6.11 Curva de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.



ENSAYOS A COMPRESIÓN PARA DETERMINAR EL ESFUERZO vs DEFORMACIÓN ESPECÍFICA, NORMA: ASTM C-469-94

Tabla N° 6.19 Resultados de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.

N° cilindro: E-10
Lo: 150 mm
Diámetro: 152 mm
L: 300 mm

Área: 18145.84 mm²
Carga de Rotura: 521892 N
Resistencia Máxima: 28.76 Mpa
40% Resistencia Máxima: 11.50 MPa

N°	CARGA		DEFORMACION (1x10 ⁻³ mm/mm)		ESFUERZO	DEFORMACIÓN ESPECÍFICA (1x10 ⁻⁶ mm/mm)
	Kg	KN	Lectura	Real	Mpa	
1	0	0	0	0.00	0.00	0.00
2	1200	12	8	4.00	0.66	26.67
3	2400	24	17	8.50	1.32	56.67
4	3600	36	25	12.50	1.98	83.33
5	4800	48	38	19.00	2.65	126.67
6	6000	60	45	22.50	3.31	150.00
7	7200	72	56	28.00	3.97	186.67
8	8400	84	65	32.50	4.63	216.67
9	9600	96	73	36.50	5.29	243.33
10	10800	108	85	42.50	5.95	283.33
11	12000	120	96	48.00	6.61	320.00
12	13200	132	104	52.00	7.27	346.67
13	14400	144	117	58.50	7.94	390.00
14	15600	156	128	64.00	8.60	426.67
15	16800	168	141	70.50	9.26	470.00
16	18000	180	155	77.50	9.92	516.67
17	19200	192	165	82.50	10.58	550.00
18	20400	204	176	88.00	11.24	586.67
19	21600	216	189	94.50	11.90	630.00
20	22800	228	201	100.50	12.56	670.00
21	24000	240	214	107.00	13.23	713.33
22	25200	252	227	113.50	13.89	756.67
23	26400	264	238	119.00	14.55	793.33
24	27600	276	253	126.50	15.21	843.33
25	28800	288	268	134.00	15.87	893.33
26	30000	300	279	139.50	16.53	930.00
27	31200	312	295	147.50	17.19	983.33
28	32400	324	310	155.00	17.86	1033.33
29	33600	336	329	164.50	18.52	1096.67
30	34800	348	345	172.50	19.18	1150.00
31	36000	360	360	180.00	19.84	1200.00
32	37200	372	375	187.50	20.50	1250.00
33	38400	384	396	198.00	21.16	1320.00
34	39600	396	415	207.50	21.82	1383.33
35	40800	408	446	223.00	22.48	1486.67
36	42000	420	478	239.00	23.15	1593.33

ENSAYO DE COMPRESIÒN.

Nº cilindro: E- 10

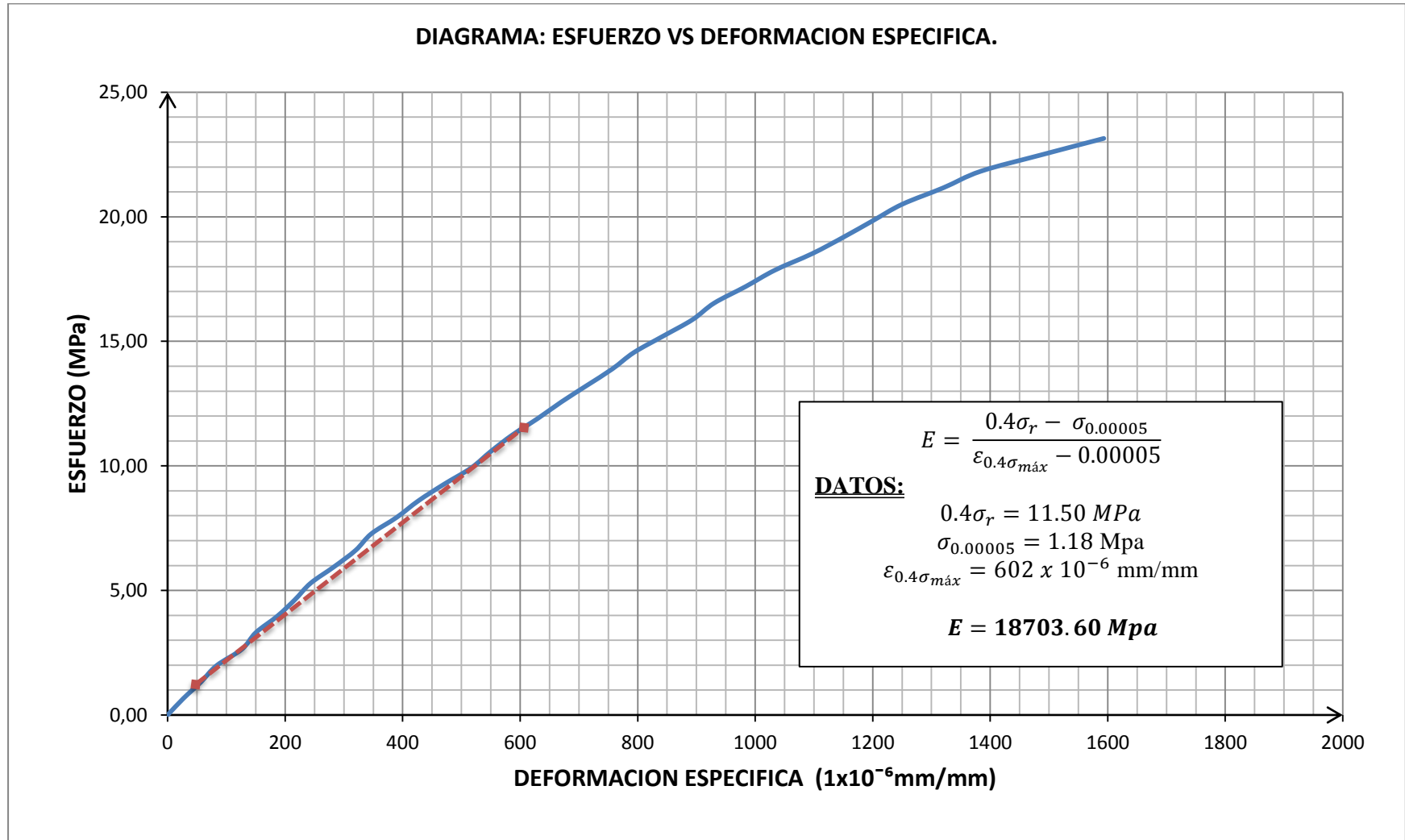


FIGURA Nº 6.12 Curva de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYOS A COMPRESIÓN PARA DETERMINAR EL ESFUERZO vs DEFORMACIÓN ESPECÍFICA, NORMA: ASTM C-469-94

Tabla N° 6.20 Resultados de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.

N° cilindro: E-11
Lo: 150 mm
Diámetro: 152 mm
L: 300 mm

Área: 18145.84 mm²
Carga de Rotura: 530721 N
Resistencia Máxima: 29.25 Mpa
40% Resistencia Máxima: 11.70 MPa

N°	CARGA		DEFORMACION (1x10 ⁻³ mm/mm)		ESFUERZO	DEFORMACIÓN ESPECÍFICA (1x10 ⁻⁶ mm/mm)
	Kg	KN	Lectura	Real	Mpa	
1	0	0	0	0.00	0.00	0.00
2	1200	12	8	4.00	0.66	26.67
3	2400	24	16	8.00	1.32	53.33
4	3600	36	24	12.00	1.98	80.00
5	4800	48	33	16.50	2.65	110.00
6	6000	60	43	21.50	3.31	143.33
7	7200	72	54	27.00	3.97	180.00
8	8400	84	63	31.50	4.63	210.00
9	9600	96	74	37.00	5.29	246.67
10	10800	108	84	42.00	5.95	280.00
11	12000	120	95	47.50	6.61	316.67
12	13200	132	105	52.50	7.27	350.00
13	14400	144	116	58.00	7.94	386.67
14	15600	156	126	63.00	8.60	420.00
15	16800	168	138	69.00	9.26	460.00
16	18000	180	152	76.00	9.92	506.67
17	19200	192	164	82.00	10.58	546.67
18	20400	204	173	86.50	11.24	576.67
19	21600	216	187	93.50	11.90	623.33
20	22800	228	200	100.00	12.56	666.67
21	24000	240	215	107.50	13.23	716.67
22	25200	252	223	111.50	13.89	743.33
23	26400	264	240	120.00	14.55	800.00
24	27600	276	253	126.50	15.21	843.33
25	28800	288	268	134.00	15.87	893.33
26	30000	300	284	142.00	16.53	946.67
27	31200	312	300	150.00	17.19	1000.00
28	32400	324	314	157.00	17.86	1046.67
29	33600	336	328	164.00	18.52	1093.33
30	34800	348	349	174.50	19.18	1163.33
31	36000	360	366	183.00	19.84	1220.00
32	37200	372	384	192.00	20.50	1280.00
33	38400	384	401	200.50	21.16	1336.67
34	39600	396	425	212.50	21.82	1416.67
35	40800	408	449	224.50	22.48	1496.67
36	42000	420	489	244.50	23.15	1630.00

Nº cilindro: E-11

ENSAYO DE COMPRESIÓN.

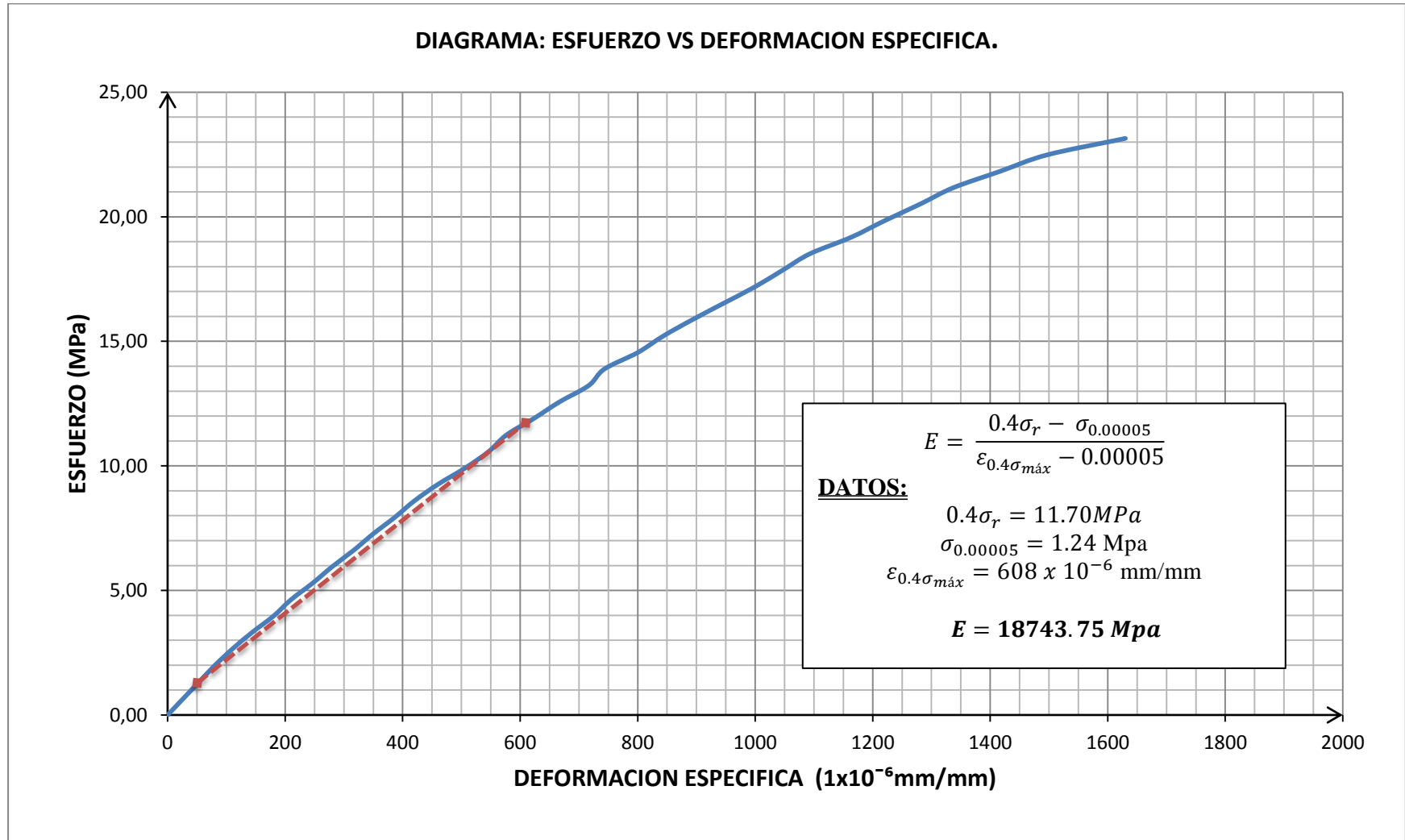


FIGURA Nº 6.13 Curva de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYOS A COMPRESIÓN PARA DETERMINAR EL ESFUERZO vs DEFORMACIÓN ESPECÍFICA, NORMA: ASTM C-469-94

Tabla N° 6.21 Resultados de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.

N° cilindro: E-12
Lo: 150 mm
Diámetro: 152 mm
L: 300 mm

Área: 18145.84 mm²
Carga de Rotura: 522873 N
Resistencia Máxima: 28.82 Mpa
40% Resistencia Máxima: 11.53 MPa

N°	CARGA		DEFORMACION (1x10 ⁻³ mm/mm)		ESFUERZO	DEFORMACIÓN ESPECÍFICA (1x10 ⁻⁶ mm/mm)
	Kg	KN	Lectura	Real	Mpa	
1	0	0	0	0.00	0.00	0.00
2	1200	12	10	5.00	0.66	33.33
3	2400	24	19	9.50	1.32	63.33
4	3600	36	30	15.00	1.98	100.00
5	4800	48	38	19.00	2.65	126.67
6	6000	60	47	23.50	3.31	156.67
7	7200	72	58	29.00	3.97	193.33
8	8400	84	67	33.50	4.63	223.33
9	9600	96	78	39.00	5.29	260.00
10	10800	108	89	44.50	5.95	296.67
11	12000	120	99	49.50	6.61	330.00
12	13200	132	110	55.00	7.27	366.67
13	14400	144	122	61.00	7.94	406.67
14	15600	156	134	67.00	8.60	446.67
15	16800	168	146	73.00	9.26	486.67
16	18000	180	157	78.50	9.92	523.33
17	19200	192	168	84.00	10.58	560.00
18	20400	204	181	90.50	11.24	603.33
19	21600	216	194	97.00	11.90	646.67
20	22800	228	208	104.00	12.56	693.33
21	24000	240	219	109.50	13.23	730.00
22	25200	252	240	120.00	13.89	800.00
23	26400	264	252	126.00	14.55	840.00
24	27600	276	267	133.50	15.21	890.00
25	28800	288	281	140.50	15.87	936.67
26	30000	300	299	149.50	16.53	996.67
27	31200	312	314	157.00	17.19	1046.67
28	32400	324	332	166.00	17.86	1106.67
29	33600	336	358	179.00	18.52	1193.33
30	34800	348	374	187.00	19.18	1246.67
31	36000	360	393	196.50	19.84	1310.00
32	37200	372	408	204.00	20.50	1360.00
33	38400	384	426	213.00	21.16	1420.00
34	39600	396	455	227.50	21.82	1516.67
35	40800	408	481	240.50	22.48	1603.33
36	42000	420	501	250.50	23.15	1670.00

ENSAYO DE COMPRESIÓN.

Nº cilindro: E-12

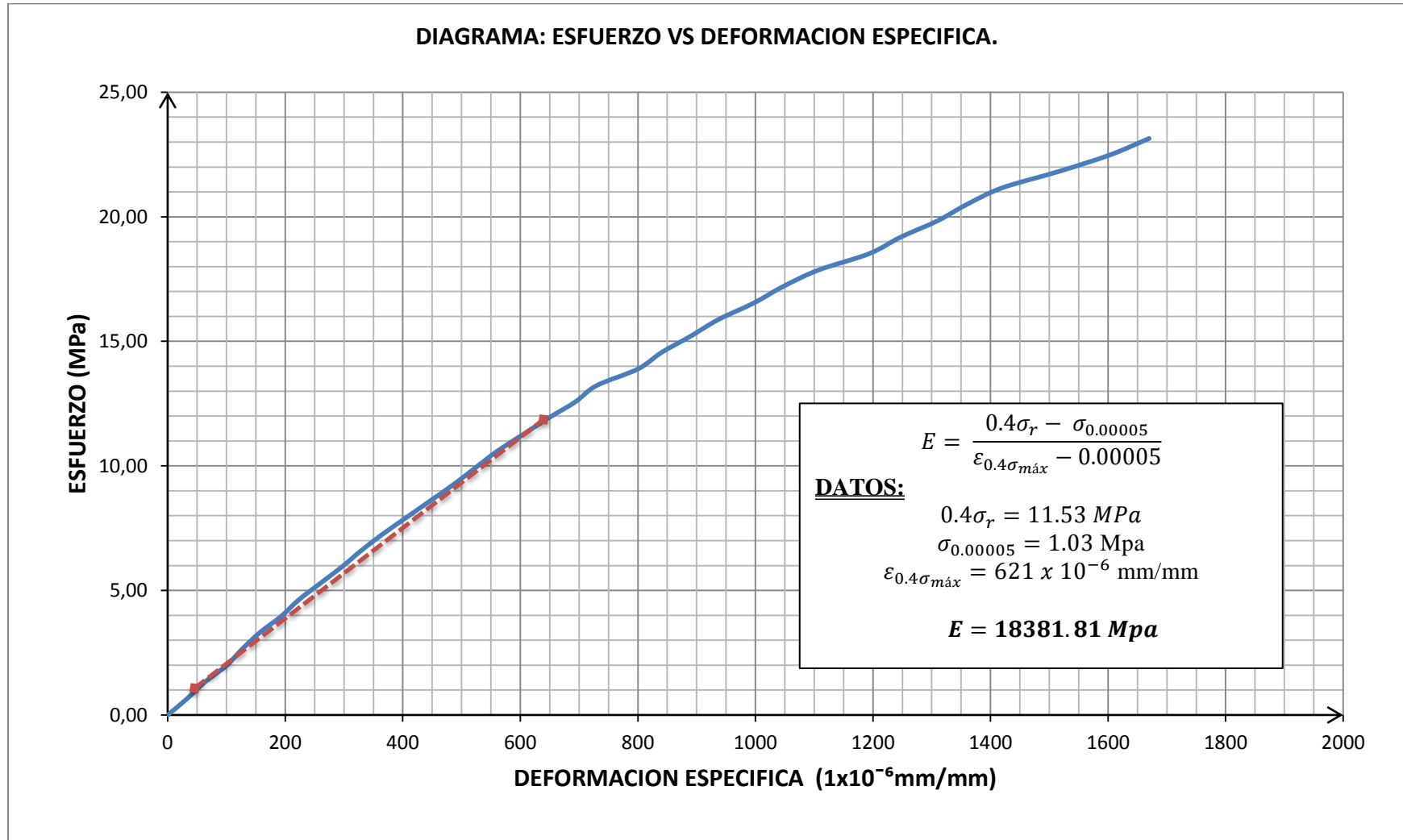


FIGURA Nº 6.14 Curva de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYOS A COMPRESIÓN PARA DETERMINAR EL ESFUERZO vs DEFORMACIÓN ESPECÍFICA, NORMA: ASTM C-469-94

Tabla N° 6.22 Resultados de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.

N° cilindro: E-13
Lo: 150 mm
Diámetro: 152 mm
L: 300 mm

Área: 18145.84 mm²
Carga de Rotura: 524835 N
Resistencia Máxima: 28.92 Mpa
40% Resistencia Máxima: 11.57 MPa

N°	CARGA		DEFORMACION (1x10 ⁻³ mm/mm)		ESFUERZO	DEFORMACIÓN ESPECÍFICA (1x10 ⁻⁶ mm/mm)
	Kg	KN	Lectura	Real	Mpa	
1	0	0	0	0.00	0.00	0.00
2	1200	12	9	4.50	0.66	30.00
3	2400	24	18	9.00	1.32	60.00
4	3600	36	30	15.00	1.98	100.00
5	4800	48	39	19.50	2.65	130.00
6	6000	60	49	24.50	3.31	163.33
7	7200	72	61	30.50	3.97	203.33
8	8400	84	69	34.50	4.63	230.00
9	9600	96	82	41.00	5.29	273.33
10	10800	108	92	46.00	5.95	306.67
11	12000	120	102	51.00	6.61	340.00
12	13200	132	112	56.00	7.27	373.33
13	14400	144	123	61.50	7.94	410.00
14	15600	156	134	67.00	8.60	446.67
15	16800	168	145	72.50	9.26	483.33
16	18000	180	156	78.00	9.92	520.00
17	19200	192	167	83.50	10.58	556.67
18	20400	204	176	88.00	11.24	586.67
19	21600	216	187	93.50	11.90	623.33
20	22800	228	197	98.50	12.56	656.67
21	24000	240	207	103.50	13.23	690.00
22	25200	252	218	109.00	13.89	726.67
23	26400	264	232	116.00	14.55	773.33
24	27600	276	242	121.00	15.21	806.67
25	28800	288	251	125.50	15.87	836.67
26	30000	300	264	132.00	16.53	880.00
27	31200	312	274	137.00	17.19	913.33
28	32400	324	284	142.00	17.86	946.67
29	33600	336	298	149.00	18.52	993.33
30	34800	348	310	155.00	19.18	1033.33
31	36000	360	326	163.00	19.84	1086.67
32	37200	372	342	171.00	20.50	1140.00
33	38400	384	362	181.00	21.16	1206.67
34	39600	396	378	189.00	21.82	1260.00
35	40800	408	401	200.50	22.48	1336.67
36	42000	420	428	214.00	23.15	1426.67

Nº cilindro: E-13

ENSAYO DE COMPRESIÓN.

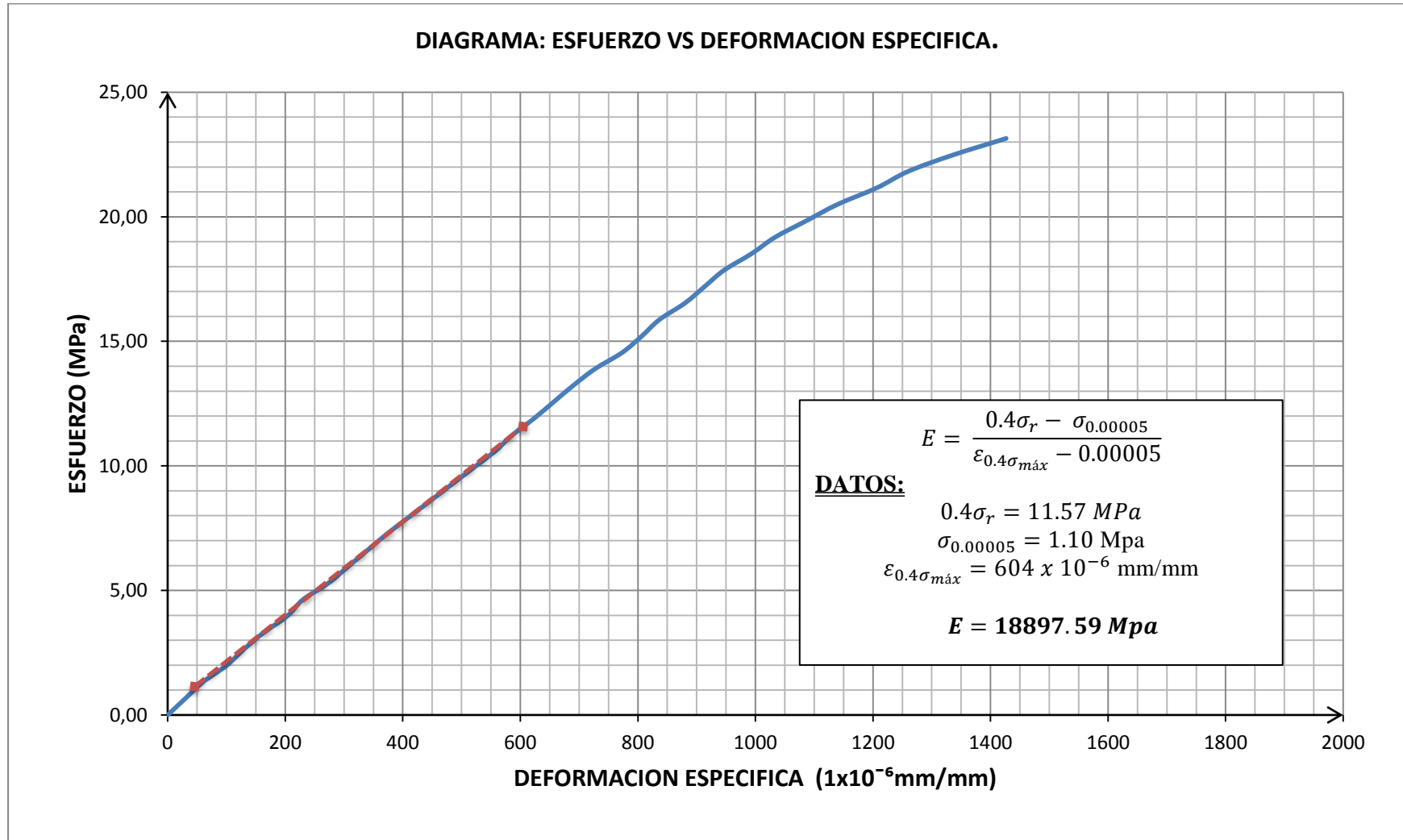


FIGURA Nº 6.15 Curva de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYOS A COMPRESIÓN PARA DETERMINAR EL ESFUERZO vs DEFORMACIÓN ESPECÍFICA, NORMA: ASTM C-469-94

Tabla N° 6.23 Resultados de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.

N° cilindro: E-14
Lo: 150 mm
Diámetro: 153 mm
L: 300 mm

Área: 18385.39 mm²
Carga de Rotura: 522873 N
Resistencia Máxima: 28.44 Mpa
40% Resistencia Máxima: 11.38 MPa

N°	CARGA		DEFORMACION (1x10 ⁻³ mm/mm)		ESFUERZO Mpa	DEFORMACIÓN ESPECÍFICA (1x10 ⁻⁶ mm/mm)
	Kg	KN	Lectura	Real		
1	0	0	0	0.00	0.00	0.00
2	1200	12	9	4.50	0.65	30.00
3	2400	24	18	9.00	1.31	60.00
4	3600	36	30	15.00	1.96	100.00
5	4800	48	39	19.50	2.61	130.00
6	6000	60	49	24.50	3.26	163.33
7	7200	72	61	30.50	3.92	203.33
8	8400	84	69	34.50	4.57	230.00
9	9600	96	82	41.00	5.22	273.33
10	10800	108	92	46.00	5.87	306.67
11	12000	120	102	51.00	6.53	340.00
12	13200	132	112	56.00	7.18	373.33
13	14400	144	123	61.50	7.83	410.00
14	15600	156	134	67.00	8.49	446.67
15	16800	168	145	72.50	9.14	483.33
16	18000	180	156	78.00	9.79	520.00
17	19200	192	167	83.50	10.44	556.67
18	20400	204	176	88.00	11.10	586.67
19	21600	216	187	93.50	11.75	623.33
20	22800	228	197	98.50	12.40	656.67
21	24000	240	207	103.50	13.05	690.00
22	25200	252	218	109.00	13.71	726.67
23	26400	264	232	116.00	14.36	773.33
24	27600	276	242	121.00	15.01	806.67
25	28800	288	251	125.50	15.66	836.67
26	30000	300	264	132.00	16.32	880.00
27	31200	312	274	137.00	16.97	913.33
28	32400	324	284	142.00	17.62	946.67
29	33600	336	298	149.00	18.28	993.33
30	34800	348	310	155.00	18.93	1033.33
31	36000	360	326	163.00	19.58	1086.67
32	37200	372	342	171.00	20.23	1140.00
33	38400	384	362	181.00	20.89	1206.67
34	39600	396	384	192.00	21.54	1280.00
35	40800	408	403	201.50	22.19	1343.33
36	42000	420	432	216.00	22.84	1440.00

Nº cilindro: E-14

ENSAYO DE COMPRESIÓN.

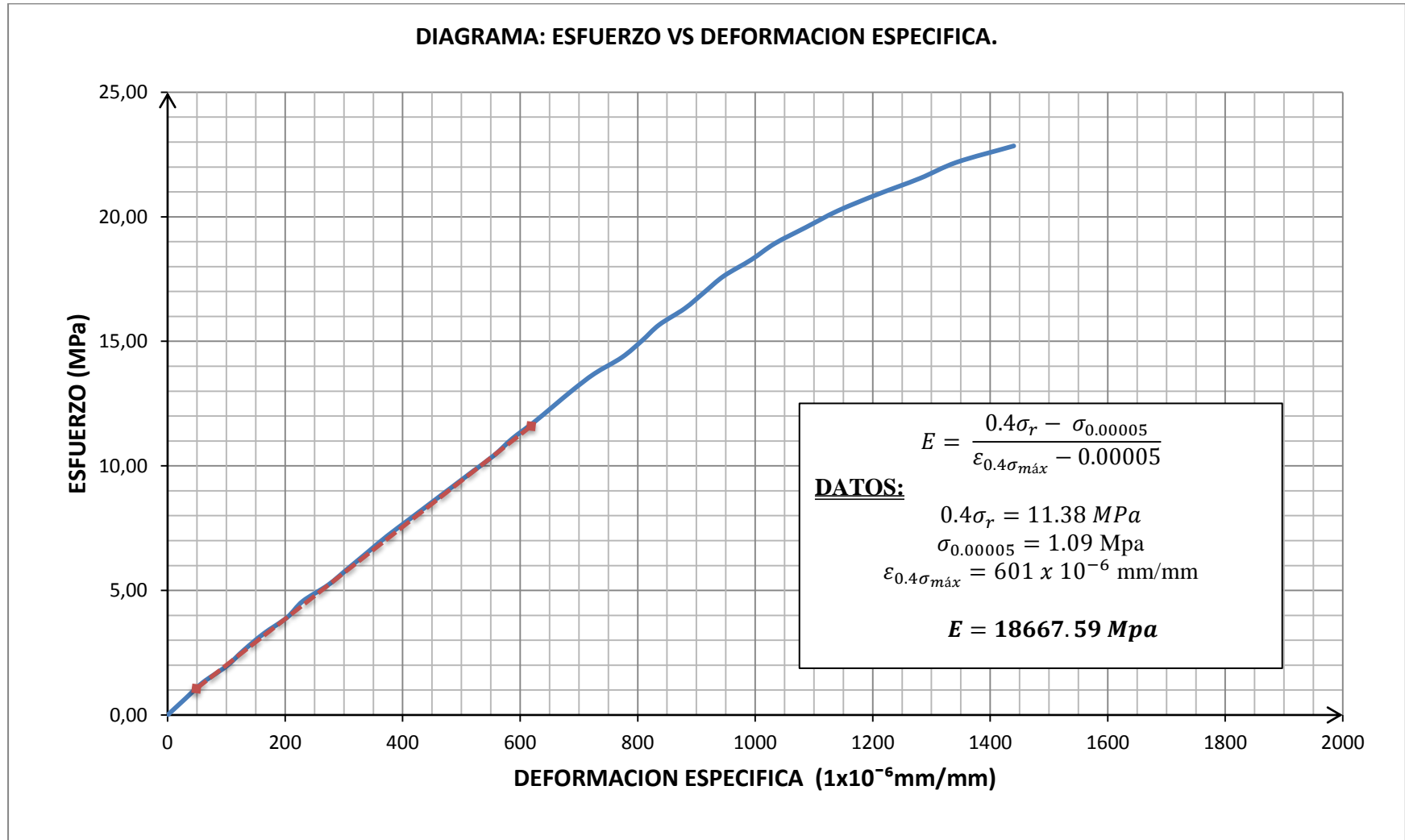


FIGURA Nº 6.16 Curva de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYOS A COMPRESIÓN PARA DETERMINAR EL ESFUERZO vs DEFORMACIÓN ESPECÍFICA, NORMA: ASTM C-469-94

Tabla N° 6.24 Resultados de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.

N° cilindro: E-15
Lo: 150 mm
Diámetro: 153 mm
L: 300 mm

Área: 18385.39 mm²
Carga de Rotura: 528759 N
Resistencia Máxima: 28.76 Mpa
40% Resistencia Máxima: 11.50 MPa

N°	CARGA		DEFORMACION (1x10 ⁻³ mm/mm)		ESFUERZO	DEFORMACIÓN ESPECÍFICA (1x10 ⁻⁶ mm/mm)
	Kg	KN	Lectura	Real	Mpa	
1	0	0	0	0.00	0.00	0.00
2	1200	12	5	2.50	0.65	16.67
3	2400	24	13	6.50	1.31	43.33
4	3600	36	21	10.50	1.96	70.00
5	4800	48	30	15.00	2.61	100.00
6	6000	60	39	19.50	3.26	130.00
7	7200	72	48	24.00	3.92	160.00
8	8400	84	57	28.50	4.57	190.00
9	9600	96	67	33.50	5.22	223.33
10	10800	108	76	38.00	5.87	253.33
11	12000	120	87	43.50	6.53	290.00
12	13200	132	98	49.00	7.18	326.67
13	14400	144	109	54.50	7.83	363.33
14	15600	156	119	59.50	8.49	396.67
15	16800	168	130	65.00	9.14	433.33
16	18000	180	145	72.50	9.79	483.33
17	19200	192	157	78.50	10.44	523.33
18	20400	204	169	84.50	11.10	563.33
19	21600	216	182	91.00	11.75	606.67
20	22800	228	199	99.50	12.40	663.33
21	24000	240	219	109.50	13.05	730.00
22	25200	252	230	115.00	13.71	766.67
23	26400	264	248	124.00	14.36	826.67
24	27600	276	260	130.00	15.01	866.67
25	28800	288	275	137.50	15.66	916.67
26	30000	300	286	143.00	16.32	953.33
27	31200	312	305	152.50	16.97	1016.67
28	32400	324	326	163.00	17.62	1086.67
29	33600	336	342	171.00	18.28	1140.00
30	34800	348	355	177.50	18.93	1183.33
31	36000	360	369	184.50	19.58	1230.00
32	37200	372	388	194.00	20.23	1293.33
33	38400	384	405	202.50	20.89	1350.00
34	39600	396	426	213.00	21.54	1420.00
35	40800	408	438	219.00	22.19	1460.00
36	42000	420	462	231.00	22.84	1540.00

ENSAYO DE COMPRESIÓN.

Nº cilindro: E-15

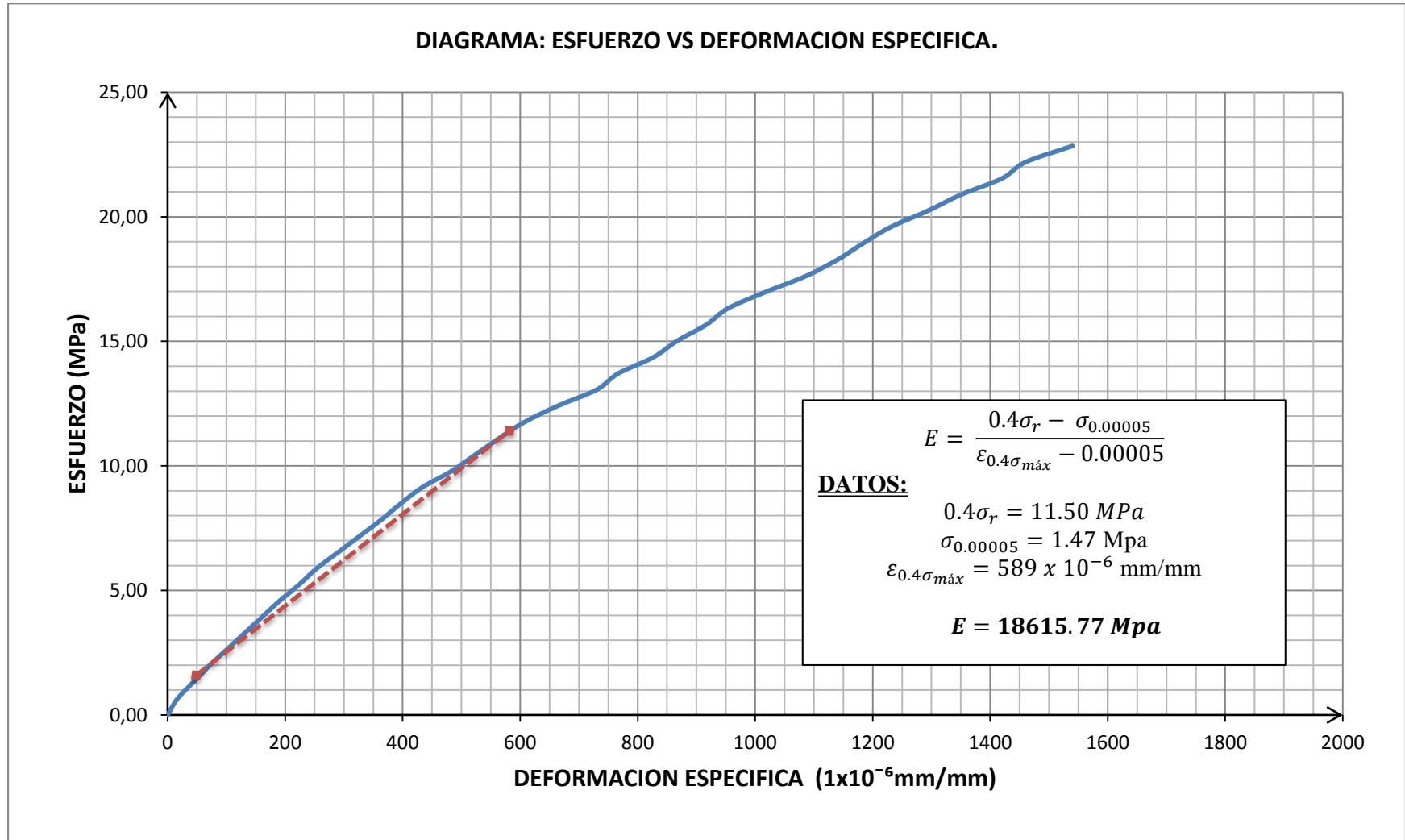


FIGURA Nº 6.17 Curva de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.

6.6 RESULTADOS Y TABULACIONES.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



RESUMEN DE ESFUERZOS vs DEFORMACIÓN ESPECÍFICA.

Tabla N° 6.25 Resultados de Esfuerzo vs Deformación a los 28 días.

CILINDRO	ESFUERZO	DEFORMACIÓN ESPECÍFICA	MÓDULO DE ELASTICIDAD
N°	MPa.	1×10^{-6} mm/mm	MPa.
E-1	1.07	50	18028.19
	11.42	624	
E-2	1.06	50	17757.18
	11.02	611	
E-3	1.41	50	18270.61
	10.71	559	
E-4	0.94	50	18585.06
	10.92	587	
E-5	1.12	50	19310.00
	11.47	586	
E-6	1.42	50	17596.65
	11.77	638	
E-7	1.65	50	19107.51
	11.62	572	
E-8	1.72	50	19653.19
	12.12	579	
E-9	1.42	50	18500.74
	10.98	567	
E-10	1.18	50	18703.60
	11.50	602	
E-11	1.24	50	18743.75
	11.70	608	
E-12	1.03	50	18381.81
	11.53	621	
E-13	1.10	50	18897.59
	11.57	604	
E-14	1.09	50	18667.59
	11.38	601	
E-15	1.47	50	18615.77
	11.50	589	

CAPÍTULO VII

MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN.

7.1 MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DE HORMIGONES.⁴⁷

La resistencia a la compresión simple, es la característica mecánica más importante de un hormigón. Su determinación se efectúa mediante el ensayo de probetas estándar de 150x300 mm. Los valores de ensayo que proporcionan las distintas probetas, son más o menos dispersos, en forma variable de una obra a otra, según el cuidado y rigor con que se fabrica el hormigón; y en esta circunstancia, debe tenerse en cuenta al tratar de definir un cierto hormigón para su resistencia.

Tradicionalmente se ha seguido el criterio de adoptar, para dicho valor, la media aritmética f'_{cm} de los n valores de roturas, llamada resistencia media. Pero, este valor, no refleja la verdadera calidad en obra, al no tener en cuenta la dispersión de la serie.

Si tenemos dos hormigones con la misma resistencia media, no cabe duda de que es más fiable aquel que presenta menor dispersión. Por consiguiente, el coeficiente de seguridad que se adopte en el cálculo, debe ser mayor para el hormigón más disperso. La conclusión que se extrae es, que el adoptar la resistencia media como base de los cálculos conduce a coeficientes de seguridad variables según la calidad de la ejecución.

Para eliminar ese inconveniente y conseguir que se trabaje con coeficiente de seguridad único, homogéneo en todos los casos, se ha adoptado modernamente el concepto de resistencia característica del hormigón, que es la medida estadística que tiene en cuenta no solo el valor de la media aritmética f'_{cm} de las roturas de las diversas probetas, sino también la desviación típica relativa o desviación de variación δ , de la serie de valores

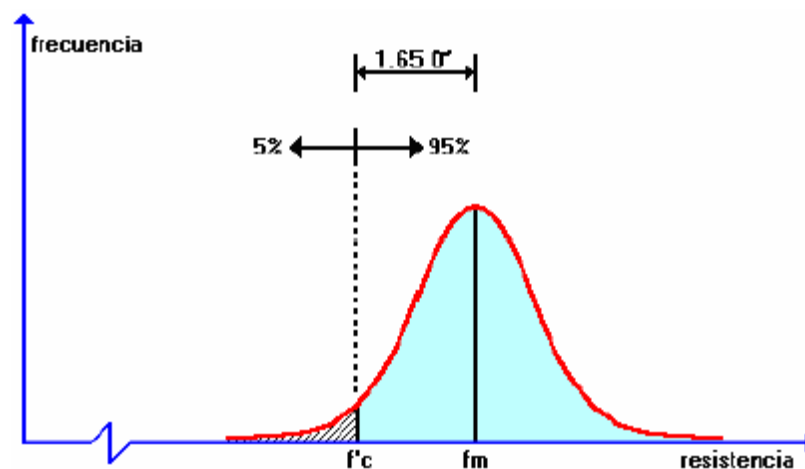
⁴⁷ *HORMIGÓN ARMADO, Montoya-Mesenguer-Moran. Pág. 99*

7.1.1 Según Montoya – Meseguer – Morán.

En este método se determina la resistencia característica a la compresión (f_{ck}) del hormigón por medio de conceptos estadísticos, siendo la resistencia característica del hormigón un valor que representa alrededor de un 95% de confiabilidad, de esta manera decimos que existe la probabilidad de que se presenten valores individuales de resistencia de los cilindros de hormigón más altos que f_c .

Con lo anteriormente expuesto y tomando en cuenta la hipótesis de una distribución normalizada (Campana de Gauss) de los ensayos de rotura de cilindros de hormigón, la resistencia característica puede calcularse a partir de la resistencia media (y la desviación estándar ()), mediante la siguiente expresión:

FIGURA N° 7.1 Distribución normalizada (Campana De Gauss)



Temas de Hormigón Armado, Marcelo Romo Proaño. Msr. Escuela Politécnica del Ejército,

Pág. 14

$$f'_{ck} = f'_{cm} * (1 - 1,64 * \delta)$$

Dónde:

f_{cm} = Resistencia promedio o Resistencia media.

δ = Coeficiente de Variación que depende de la fabricación del hormigón, en cuanto a las diferentes resistencias.

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}} \right)^2}$$

Posteriormente, luego de haber calculado la resistencia característica (f'_{c_k}), se deberán calcular los valores de las Resistencias Características Máxima, Media y Mínima respectivamente.

$$f'_{c_{kMáxima}} = f'_{c_k} + S$$

$$f'_{c_{kMedia}} = f'_{c_k}$$

$$f'_{c_{kMínima}} = f'_{c_k} - S$$

Dónde:

f'_{c_k} = Resistencia Característica.

S = Desviación Estándar

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\sigma_i - \sigma_m)^2}{n - 1}}$$

Donde:

n = Número de ensayos considerados

σ_i = Resultado de ensayos individuales

σ_m = Promedio de los n resultados de ensayos considerados.



DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DEL HORMIGON

SEGÚN MONTOYA – MESENGUER - MORAN

Tabla N° 7.1 Resistencia Característica según Montoya – Meseguer – Mora

CILINDRO Nº	RESISTENCIA f'_{ci} Mpa
1	30.06
2	28.81
3	26.75
4	29.14
5	28.65
6	27.53
7	29.03
8	29.29
9	28.18
10	28.92
11	29.22
12	28.41
13	29.08
14	29.56
15	28.73
16	28.51
f_{cm}	28.74

$$\delta = 0.0265$$

$$S = 0.7854$$

$$f'_{ck_{m\acute{a}x}} = 28.28 \text{ MPa}$$

$$f'_{ck_{media}} = 27.49 \text{ MPa}$$

$$f'_{ck_{min}} = 26.71 \text{ MPa}$$

7.1.2 Según Oscar Padilla.

En este método el autor hace énfasis de que los valores de las resistencias efectivas obtenidas de los ensayos de los n cilindros de hormigón, deben ordenarse descendientemente, es decir, de mayor a menor. Luego de esto se hará la división en dos subgrupos, haciendo que de esta manera cada grupo contengan la misma cantidad de valores de los ensayos, en el caso de que se tenga una cantidad de dichos valores sea par. Por otro lado si la cantidad de ensayos fueren impares se procederá a la eliminación del valor del ensayo que quede intermedio para continuar con procedimiento anterior explicado.

De cada subgrupo ha seleccionado el valor promedio mediante la aplicación de la media aritmética. Una vez que se tenga los dos valores se obtiene la resistencia característica, que el autor propone.

$$f'c_k = 2 * f'c_{m1} - f'c_{m2}$$

En donde:

$f'c_k$ = Resistencia Característica.

$f'c_{m1}$ = Resistencia promedio del primer subgrupo

$f'c_{m2}$ = Resistencia promedio del segundo subgrupo

Para continuar con el procedimiento de cálculo, se deberá realizar el cálculo de los valores de las Resistencias Características Máxima, Media y Mínima respectivamente, tal y cual como se efectuó en el anterior método.

$$f'c_{kMáxima} = f'c_k + S$$

$$f'c_{kMedia} = f'c_k$$

$$f'c_{kMínima} = f'c_k - S$$

Dónde:

$f'c_k$ = Resistencia Característica.

S = Desviación estándar



DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DEL HORMIGON

SEGÚN OSCAR PADILLA

Tabla N° 7.2 Resistencia Característica Según Oscar Padilla.

CILINDRO Nº	RESISTENCIA f'_{ci} Mpa
1	30.06
2	29.56
3	29.29
4	29.22
5	29.14
6	29.08
7	29.03
8	28.92
9	28.81
10	28.73
11	28.65
12	28.51
13	28.41
14	28.18
15	27.53
16	26.75
f_{cm}	28.74



DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DEL HORMIGON

SEGÚN OSCAR PADILLA

Tabla N° 7.2.1 Resistencia promedio del Primer Subgrupo.

Nº	RESISTENCIA f'_{ci} Mpa
1	30.06
2	29.56
3	29.29
4	29.22
5	29.14
6	29.08
7	29.03
8	28.92
$f'_{cm1} =$	29.29

Tabla N° 7.2.2 Resistencia promedio del Segundo Subgrupo.

Nº	RESISTENCIA f'_{ci} Mpa
1	28.81
2	28.73
3	28.65
4	28.51
5	28.41
6	28.18
7	27.53
8	26.75
$f'_{cm2} =$	28.20

$$S = 0.7854$$

$$f'_{ck_{\max}} = 31.16 \text{ MPa}$$

$$f'_{ck_{\text{media}}} = 30.38 \text{ MPa}$$

$$f'_{ck_{\min}} = 29.59 \text{ MPa}$$

7.1.3 Según Saliger.

El autor de este método para el cálculo de la resistencia característica del hormigón, propone en determinar el promedio del total de las resistencias efectivas de los n cilindros de hormigón ensayados mediante la aplicación de la media aritmética. Una vez obtenido este valor; el autor propone la siguiente expresión para el cálculo de la resistencia característica:

$$f'c_k = 0,75 * f'c_m$$

Dónde:

$f'c_k$ = Resistencia Característica.

$f'c_m$ = Resistencia promedio o Resistencia media.

De la misma manera como se procedió en el método anterior, podemos obtener los límites superior e inferior, para ello utilizamos la desviación estándar de la siguiente manera.

$$f'c_{kMáxima} = f'c_k + S$$

$$f'c_{kMedia} = f'c_k$$

$$f'c_{kMínima} = f'c_k - S$$

Dónde:

$f'c_k$ = Resistencia Característica.

$f'c_m$ = Resistencia promedio o Resistencia media.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\sigma_i - \sigma_m)^2}{n - 1}}$$

Donde:

n = Número de ensayos considerados

σ_i = Resultado de ensayos individuales

σ_m = Promedio de los n resultados de ensayos considerados.



DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DEL HORMIGON

SEGÚN SALINGER

Tabla N° 7.3 Resistencia Característica Según Salinger.

CILINDRO Nº	RESISTENCIA f'_{ci} Mpa
1	30.06
2	28.81
3	26.75
4	29.14
5	28.65
6	27.53
7	29.03
8	29.29
9	28.18
10	28.92
11	29.22
12	28.41
13	29.08
14	29.56
15	28.73
16	28.51
f_{cm}	28.74
$0.75 \times f_{cm} =$	21.56

$$S = 0.7854$$

$$f'_{ck_{\max}} = 22.34 \text{ MPa}$$

$$f'_{ck_{\text{media}}} = 21.56 \text{ MPa}$$

$$f'_{ck_{\min}} = 20.77 \text{ MPa}$$

7.1.4 Según Norma Ecuatoriana.

La Norma Ecuatoriana se basa en las recomendaciones de la norma A.C.I.-301 (Especificaciones para Hormigón Estructural); mediante el cual la resistencia características se determina, siguiendo el procedimiento siguiente:

1. Si se tiene como mínimo 15 resultados de ensayos individuales (recomendándose 30 resultados), se puede determinar la desviación estándar a través de la siguiente ecuación:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\sigma_i - \sigma_m)^2}{n - 1}}$$

Donde:

n = Número de ensayos considerados

σ_i = Resultado de ensayos individuales

σ_m = Promedio de los n resultados de ensayos considerados.

2. Si el número de resultados es menor a 30 ensayos individuales, se toma un factor de mayoración de la desviación estándar de la tabla N° 7.1 para poder determinar la resistencia característica requerida.

Tabla N° 7.4 Factor de Mayoración (k).⁴⁸

Factor de Mayoración	
Número de Ensayos Considerados	k
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 ó más	1,00

⁴⁸A.C.I., American Concrete Institute. *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural A.C.I. 318S-08.* Impreso en U.S.A. Preparado por el Comité A.C.I. 318. Año 2008.

NOTA.- Se puede observar en esta tabla que el número mínimo de ensayos es de 15, pues mientras mayor sea el número de ensayos, mejor serán los resultados mediante este método y el factor de mayoración será menor.

$$f'cr_1 = f'c + 1.34 * k * s$$

$$f'cr_2 = f'c + 2.33 * k * s - 3.45$$

Donde:

- $f'c$: Resistencia especificada a la compresión.
- $f'c$: Resistencia Característica.
- k : Factor de mayoración, y se obtiene de la tabla
- s : Desviación estándar calculada.

Hay que tomar el mayor valor de los $f'cr$ de las dos ecuaciones concideradas.

Debido a que el número total de ensayos es diferente a los que se establece en la Tabla de Factor de Mayoración, se debe hacer una interpolación lineal, de esta manera obtendremos el valor este Factor de Mayoración para 16 ensayos realizados.

Factor de Mayoración	
Número de Ensayos Considerados	k
15	1,16
16	X
20	1,08

$$k = 1.144$$



DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DEL HORMIGON

SEGÚN NORMA ECUATORIANA

Tabla N° 7.5 Resistencia Característica Según Norma Ecuatoriana.

CILINDRO N°	RESISTENCIA f'_{ci} Mpa
1	30.06
2	28.81
3	26.75
4	29.14
5	28.65
6	27.53
7	29.03
8	29.29
9	28.18
10	28.92
11	29.22
12	28.41
13	29.08
14	29.56
15	28.73
16	28.51
f_{cm}	28.74

$$S = 0.7854$$

$$k = 1.1440$$

$$f'_{cr_1} = 22.20 \text{ MPa}$$

$$f'_{cr_2} = 19.64 \text{ MPa}$$

Por tanto, la Resistencia Característica para este método sera:

$$f'_{cr_1} = 22.20 \text{ MPa}$$



RESUMEN DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DEL HORMIGON

Tabla N° 7.6 Resumen de las Resistencia Característica.

AUTOR	RESISTENCIA CARACTERISTICA Mpa
Resistencia Media	31.94
Montoya - Meseguer - Moya	27.49
Oscar Padilla	30.38
Salinger	21.56
Norma Ecuatoriana	22.20

7.2 DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL, TEÓRICO Y ESTADÍSTICO DEL MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

El hormigón, por no ser un material íntegramente elástico, el módulo de elasticidad se define como la relación entre, el esfuerzo y la deformación unitaria axial, por lo tanto no cabe hablar de módulo de elasticidad sino de módulo de deformación longitudinal, el cual no tiene un valor constante en el diagrama σ vs ϵ .⁴⁹

Para la determinación del Módulo Estático de Elasticidad existen tres métodos:

- Determinación experimental.
- Determinación estadística.
- Determinación teórica

⁴⁹ ASMAL, Daniel. *Módulo de Elasticidad del Hormigón*, Tesis 2012 – Pág. 186

Determinación Experimental.

En la determinación experimental del módulo de elasticidad se tomaron las recomendaciones establecidas en la norma ASTM C-469-94, “Método Estándar de ensayo para determinar el Módulo Estático de Elasticidad y Relación de Poisson del Hormigón en Compresión”.

Para la determinación del valor del Módulo Estático de Elasticidad del Hormigón, se deben tomar dos puntos de referencia en la curva (σ vs ϵ) de la siguiente manera:

- Primer punto correspondiente a una deformación específica de 0.000050 mm/mm (ϵ_1 , σ_1).
- Segundo punto correspondiente al 40% del esfuerzo máximo de rotura de la muestra ensayada (ϵ_2 , σ_2).

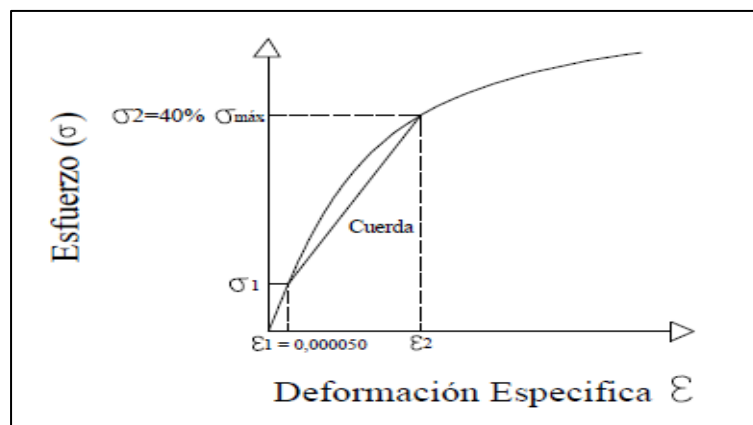


FIGURA N° 7.2 Método de la Secante para el Cálculo del Módulo de Elasticidad del Hormigón.

De la figura N° 7.3 por medio de puntos detallados, podemos encontrar el valor del Módulo Estático de Elasticidad del Hormigón mediante la tangente trigonométrica de la secante, a través de la siguiente ecuación:

$$E_c = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$



MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

METODO EXPERIMENTAL

Tabla N° 7.8 Módulo de Elasticidad del Hormigón (Método Experimental)

CILINDRO N°	CARGA	RESISTENCIA	MÓDULO DE ELASTICIDAD ASTM 469
	N	MPa.	MPa.
E-1	531702	28.55	18028.19
E-2	519930	27.55	17757.18
E-3	482652	26.77	18270.61
E-4	505215	27.30	18585.06
E-5	510120	28.68	19310.00
E-6	526797	29.42	17596.65
E-7	510120	29.06	19107.51
E-8	553284	30.29	19653.19
E-9	488538	27.46	18500.74
E-10	521892	28.76	18703.60
E-11	530721	29.25	18743.75
E-12	522873	28.82	18381.81
E-13	524835	28.82	18897.59
E-14	522873	28.92	18667.59
E-15	528759	28.44	18615.77
		PROMEDIO	18587.95

Determinación Estadística

La media aritmética resultante del grupo de datos obtenidos mediante los ensayos no es más que la resistencia promedio (f'_{cm}), la cual es obtenida mediante las siguientes expresiones:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$
$$f'_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^n f'_i c_i}{n}$$

Una vez obtenidos los valores de resistencia promedio, se procede a computar la desviación estándar mediante la siguiente expresión:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Dónde:

- S : Desviación estándar.
- n : Número de resultados de los ensayos considerados.
- \bar{X} : Promedio de los n resultados de ensayos considerados.
- X_i : Resultado de ensayos individuales.

Finalmente es necesario establecer el coeficiente de variación, para poder comparar dos grupos de valores de carácter diferente. El coeficiente de variación se obtiene mediante la relación entre la desviación estándar y la media aritmética o resistencia promedio.

$$CV = \frac{S}{\bar{X}}$$



MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

METODO ESTADISTICO

Tabla N° 7.7 Módulo de Elasticidad del Hormigón (Método Estadístico).

N°	CILINDRO	MÓDULO DE ELASTICIDAD ASTM 469
		MPa.
1	E-1	18028.19
2	E-2	17757.18
3	E-3	18270.61
4	E-4	18585.06
5	E-5	19310.00
6	E-6	17596.65
7	E-7	19107.51
8	E-8	19653.19
9	E-9	18500.74
10	E-10	18703.60
11	E-11	18743.75
12	E-12	18381.81
13	E-13	18897.59
14	E-14	18667.59
15	E-15	18615.77

MEDIA ARITMÉTICA	18587.95
DESVIACIÓN ESTANDAR	547.96
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	2.95 %

Determinación Teórica.

Las normas del A.C.I. dan las siguientes expresiones para el cálculo del módulo secante de elasticidad del hormigón (E_c).

$$E_c = 4700 * \sqrt{f'c} \text{ (MPa.)} \quad \text{A.C.I. - 318}$$

$$E_c = 3320 * \sqrt{f'c} + 6900 \text{ (MPa.)} \quad \text{A.C.I. - 363}$$

Debe señalarse que estas expresiones son válidas únicamente en términos generales, ya que el valor del Módulo de Elasticidad está también afectado por factores diferentes a las cargas, tales como:

- Humedad en la muestra de hormigón.
- La relación agua/cemento.
- Edad del hormigón.
- Temperatura.

En las siguientes tablas de resumen se indican las resistencias efectivas y el Módulo Estático de Elasticidad del Hormigón para cada muestra ensayada mediante estos métodos.



MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

METODO TEÓRICO

Tabla N° 7.9 Módulo de Elasticidad del Hormigón (Método Teórico)

CILINDRO N°	RESISTENCIA	MÓDULO DE ELASTICIDAD		
	f'_c	ASTM – 469	A.C.I. - 318	A.C.I. - 363
	MPa	MPa	MPa	MPa
1	28.55	18028.19	25111.14	24638.08
2	27.55	17757.18	24671.39	24327.45
3	26.77	18270.61	24319.65	24078.99
4	27.30	18585.06	24557.42	24246.94
5	28.68	19310.00	25168.23	24678.41
6	29.42	17596.65	25491.63	24906.85
7	29.06	19107.51	25336.57	24797.33
8	30.29	19653.19	25867.66	25172.47
9	27.46	18500.74	24630.07	24298.26
10	28.76	18703.60	25205.75	24704.91
11	29.25	18743.75	25418.06	24854.89
12	28.82	18381.81	25229.43	24721.64
13	28.82	18897.59	25229.43	24721.64
14	28.92	18667.59	25276.72	24755.05
15	28.44	18615.77	25064.53	24605.16
PROMEDIO	28.54	18587.95	25105.18	24633.87

7.3 COMPARACIÓN ENTRE LOS MÓDULOS ESTÁTICOS DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN, TEÓRICO VS EXPERIMENTAL:

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



COMPARACIÓN ENTRE LOS MÓDULOS ESTÁTICOS DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN, TEÓRICO Y EXPERIMENTAL

Tabla N° 7.10 Comparación entre los Módulos Estáticos de Elasticidad del Hormigón, Teórico y Experimental.

MONTOYA - MESEGUER - MORAN

VALORES	f'ck	MÓDULO DE ELASTICIDAD		
		ASTM – 469	A.C.I.-318	A.C.I.-363
	MPa.	MPa.	MPa.	MPa.
MÁXIMO	28.28	19653.19	24994.24	24555.51
PROMEDIO	27.49	18587.95	24644.72	24308.61
MÍNIMO	26.71	17596.65	24290.17	24058.17

OSCAR PADILLA

VALORES	f'ck	MÓDULO DE ELASTICIDAD		
		ASTM – 469	A.C.I.-318	A.C.I.-363
	MPa.	MPa.	MPa.	MPa.
MÁXIMO	31.16	19653.19	26237.98	25434.06
PROMEDIO	30.38	18587.95	25905.24	25199.02
MÍNIMO	29.59	17596.65	25568.18	24960.93

SALINGER

VALORES	f'ck	MÓDULO DE ELASTICIDAD		
		ASTM – 469	A.C.I.-318	A.C.I.-363
	MPa.	MPa.	MPa.	MPa.
MÁXIMO	22.34	19653.19	22215.63	22592.74
PROMEDIO	21.56	18587.95	21821.65	22314.44
MÍNIMO	20.77	17596.65	21420.42	22031.02

NORMA ECUATORIANA

VALORES	f'ck	MÓDULO DE ELASTICIDAD		
		ASTM – 469	A.C.I.-318	A.C.I.-363
	MPa.	MPa.	MPa.	MPa.
MÁXIMO	22.20	19653.19	22146.93	22544.21
MÍNIMO	19.64	17596.65	20830.88	21614.58

CAPÍTULO VIII

RESULTADOS FINALES

8.1 RESUMEN FINAL DE LOS RESULTADOS.

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



RESUMEN DEL MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN.

RESISTENCIA EXPERIMENTAL A PARTIR DE LOS ENSAYOS SOBRE CILINDROS A EDADES DE 28 DÍAS.

ORIGEN: San Ramón –Provincia Cotopaxi **FECHA:** Quito, 14/02/2013

Tabla N° 8.1 Resumen del Módulo Estático de Elasticidad del Hormigón.

MONTOYA - MESEGUER - MORAN

VALORES	f'ck	MÓDULO DE ELASTICIDAD				
		ASTM – 469	A.C.I.-318		A.C.I.-363	
	MPa.	MPa.	MPa.	%	MPa.	%
MÁXIMO	28.28	19653.19	24994.24	78.63	24555.51	80.04
PROMEDIO	27.49	18587.95	24644.72	75.42	24308.61	76.47
MÍNIMO	26.71	17596.65	24290.17	72.44	24058.17	73.14

OSCAR PADILLA

VALORES	f'ck	MÓDULO DE ELASTICIDAD				
		ASTM – 469	A.C.I.-318		A.C.I.-363	
	MPa.	MPa.	MPa.	%	MPa.	%
MÁXIMO	31.16	19653.19	26237.98	74.90	25434.06	77.27
PROMEDIO	30.38	18587.95	25905.24	71.75	25199.02	73.76
MÍNIMO	29.59	17596.65	25568.18	68.82	24960.93	70.50



RESUMEN DEL MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN.

RESISTENCIA EXPERIMENTAL A PARTIR DE LOS ENSAYOS SOBRE CILINDROS A EDADES DE 28 DÍAS.

ORIGEN: San Ramón –Provincia Cotopaxi

FECHA: Quito, 14/02/2013

Tabla N° 8.2 Resumen del Módulo Elástico de Elasticidad del Hormigón.

SALINGER

VALORES	f'ck	MÓDULO DE ELASTICIDAD				
		ASTM – 469	A.C.I.-318		A.C.I.-363	
	MPa.	MPa.	MPa.	%	MPa.	%
MÁXIMO	22.34	19653.19	22215.63	88.47	22592.74	86.99
PROMEDIO	21.56	18587.95	21821.65	85.18	22314.44	83.30
MÍNIMO	20.77	17596.65	21420.42	82.15	22031.02	79.87

NORMA ECUATORIANA

VALORES	f'ck	MÓDULO DE ELASTICIDAD				
		ASTM – 469	A.C.I.-318		A.C.I.-363	
	MPa.	MPa.	MPa.	%	MPa.	%
PROMEDIO	22.20	18587.95	22146.93	83.93	22544.21	82.45

8.2 PLANTEAMIENTO DE LA ECUACIÓN EXPERIMENTAL DEL MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN.

Para el planteamiento de la ecuación experimental del Módulo de Elasticidad se requiere de la aplicación de una ecuación general típica, la misma que será determinada con la resistencia característica, según la Norma Ecuatoriana, obteniendo para nuestros materiales un factor específico, el mismo que está en función de las propiedades de nuestros agregados tanto fino, como grueso.

La ecuación a plantearse a continuación, se presenta en las unidades más comúnmente trabajadas y utilizadas por el ingeniero civil, las cuales son:

- **ECUACIÓN GENERAL DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN.**

$$Ec = Factor * \sqrt{f'c}$$

Dónde:

Ec = Módulo Estático de Elasticidad del Hormigón (promedio).

$f'c$ = Resistencia especificada del Hormigón.

Con los resultados de los ensayos obtenidos en el laboratorio y sus respectivos análisis, al planteamiento de la siguiente ecuación.

En MPa:

$$Factor = \frac{Ec}{\sqrt{f'c}}$$

$$Factor = \frac{18588}{\sqrt{22.20}}$$

$$Factor = 3945.08$$

$$Factor = 4000 * \sqrt{f'c} \text{ (MPa)}$$

En kg/cm²: *Equivalencia: 1 MPa = 10.197 kg/cm²*

$$Factor = \frac{Ec * 10.197}{\sqrt{f'c * 10.197}}$$

$$Factor = \frac{18588 * 10.197}{\sqrt{22.20 * 10.197}}$$

$$Factor = 12597.73$$

$$Factor = 12600 * \sqrt{f'c} \quad (kg/cm^2)$$

Entonces la ecuación para el cálculo del Módulo de Elasticidad del Hormigón, cuando se utilice agregados de la mina San Ramón y Cemento Chimborazo será:

$$:E = 4000 * \sqrt{f'c} \quad (MPa)$$

$$:E = 12600 * \sqrt{f'c} \quad (kg/cm^2)$$

CONCLUSIONES.

8.3.1 Conclusiones Generales.

- Se establece que las ecuaciones establecidas por el A.C.I, en la obtención del Módulo Estático de Elasticidad del Hormigón, no se pueden aplicar en forma directa, puesto que las características geológicas no lo permiten, dado que la resistencia a la comprensión del hormigón depende de los agregados de la mina y del tipo de cemento que se emplee.
- De acuerdo a lo establecido en la norma INEN 872, el agregado fino de la Mina San Ramón, utilizado para la elaboración del hormigón cumple con los requisitos de gradación, puesto que tienen un módulo de finura de 2.61, además su granulometría se encuentran entre los límites establecidos.
- La arena utilizada, es de muy buena calidad, pues no contiene materia orgánica, limo o arcillas, conclusión establecida luego de los ensayos de calorimetría con resultados de colores blanco-claros a transparentes.
- Se puede inferir sobre el agregado grueso de la mina San Ramón, que es extraído mediante explotación a cielo abierto y de la trituración de rocas naturales, formadas a consecuencia de las erupciones volcánicas del Volcán Cotopaxi como son las: andesitas, lavas, piroclastos, las mismas que tienen un tamaño nominal máximo de 1”.
- El agregado grueso es de aceptable calidad, pues luego de 500 revoluciones en el ensayo de abrasión arrojó un desgaste del 34.26 %, mismo que con un coeficiente de uniformidad de 0.20, nos señala que se trata de un material de dureza uniforme, de acuerdo a lo establecido por la norma INEN 861.
- La densidad tanto real como aparente de los agregados fino y grueso, nos muestra que es mayor para la arena; estos valores intervienen considerablemente en la densidad de la mezcla, debido a la porosidad que presenta el agregado grueso, por esta razón es que, la curva de densidad óptima crece hasta un punto máximo y luego empieza a decrecer, esto se

debe a que la arena ocupará la mayoría de espacios que el ripio deja por su forma, y por ende el peso aumenta bruscamente.

- En el ensayo de densidad optima de los agregados, la densidad máxima corresponde al 35% de la mezcla de arena, por tanto los porcentajes de densidad optima de los agregados serán el 31% de arena y 69% de ripio en la mezcla, teniendo como densidad optima 1.87 g/cm^3 .
- La absorción del agregado grueso (2.65%), refleja una porosidad, propia de las andesitas y los materiales piroclásticos.
- En esta investigación se utilizó el Cemento Chimborazo, que es un parámetro fijo de comparación y análisis con los resultados de otras minas; sin embargo, luego de realizar los ensayos de densidad del cemento con el método Lechatellier, se obtuvo 2.88 g/cm^3 , que son valores aproximados a los recomendados por el fabricante que es 3.00 g/cm^3 .
- El cemento ensayado posee una finura de 92.45% la cual no es admisible para un cemento que va a ser utilizado en un diseño de mezcla debido a que se admite un porcentaje de 5.00% de impurezas como máximo, y el cemento ensayado tiene un porcentaje de impurezas del 7.55% lo que dice que dicho cemento no está apto para ser utilizado en el diseño de mezcla o se encuentra alterado.
- Los resultados de las probetas diseñadas con el método A.C.I, fueron del 100.27 % de la resistencia especificada a los 7 días, con lo cual se elaboró las mezclas definitivas, para la resistencia de 21MPa la relación a/c fue de 0.59, estableciéndose una pequeña variación a los datos proporcionados por el Ing. Marco Garzón que es de 0.58, alcanzando el 136.87 % de la resistencia a los 28 días, lo cual se pueden considerar resistencias satisfactorias.
- De acuerdo a lo que estipula la Norma Ecuatoriana, se encontró una resistencia superior en lo que respecta a la mezcla diseñada para la resistencia específica, alcanzando una resistencia de 20.20 MPa a los 28 días.

- Los ensayos de los cilindros a compresión con la mezcla definitiva a los 7, 14, 21, 28 días arrojaron valores satisfactorios de resistencia, habiendo superado a los 14 días el 100 % de la resistencia específica, para así aplicar a los cilindros el ensayo de carga y deformación.

8.3.2 Conclusiones Específicas.

- Experimentalmente los módulos de elasticidad del hormigón que se obtuvieron son menores que las que se determinan según la norma ASTM C 469, con relación a las ecuaciones establecidas por el ACI. La comparación en porcentaje de los valores obtenidos entre el método teórico y experimental elegido según el criterio de la Norma Ecuatoriana nos indica lo siguiente:

Alcanza el 84% del propuesto por el ACI 318.

Alcanza el 82% del propuesto por el ACI 363.

- La ecuación para el cálculo del Módulo Estático de Elasticidad del Hormigón, obtenida en la investigación con los materiales de la mina “San Ramón” y Cemento Chimborazo es de:

$$E = 4000 * \sqrt{f'c} \text{ (MPa)} \text{ ó } E = 12600 * \sqrt{f'c} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Que representa el 83.94 % de la resistencia especificada por el código ACI-318, que propone un valor de:

$$E = 4700 * \sqrt{f'c} \text{ (MPa)} \text{ ó } E = 15100 * \sqrt{f'c} \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

- La resistencia característica a la compresión del hormigón, según Montoya-Mesenguer-Moran, Oscar Padilla, Salinger y Norma Ecuatoriana, nos muestran una dispersión en los resultados en cada uno de los métodos, esto se debe a que los modelos estadísticos utilizados son diferentes para cada caso.

METODO	f_{ck} 21 Mpa
Montoya - Meseguer – Moran	27.49
Oscar Padilla	30.38
Salinger	21.56
Norma Ecuatoriana	22.20

- Según la Norma Ecuatoriana, la resistencia efectiva, es de 22.20 MPa, y experimentalmente en nuestra investigación se determinó una resistencia de 31.57 MPa, por lo tanto difiere en un 29.68 %, además se establece una incongruencia en el valor del módulo de elasticidad del hormigón determinado mediante la norma A.S.T.M. C-469 y el valor del módulo determinado por los métodos de resistencia característica.
- El Módulo Estático de Elasticidad del Hormigón, no depende exclusivamente de la resistencia a la compresión y a la densidad del hormigón, sino que además se debe a otros factores, como las propiedades del agregado, influenciando la porosidad y al módulo estático de elasticidad del mismo agregado, esto, como consecuencia de las diversas investigaciones realizadas por la Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemática de la Universidad Central del Ecuador, y la presente investigación.
- Por regla general, sabemos que en las obras civiles en lo que respecta al control de calidad del hormigón se da mayor importancia al valor de la resistencia a la compresión (f'_c), pero se concluye que es de igual importancia el valor del módulo de elasticidad real del hormigón, para los diseños estructurales, sobre todo en el cálculo de las deformaciones.

- Resistencias mayores a las especificadas (21Mpa), utilizando la relación $a/c = 0.58$ y de acuerdo a la tabla proporcionada por el Laboratorio de Ensayo de Materiales y Modelos, si es posible obtenerlas, a través de un buen diseño y con materiales de buena calidad, esto se concluye a través de nuestra investigación.

8.4 RECOMENDACIONES.

8.4.1 Recomendaciones Generales.

- La calidad del producto, en lo que se refiere a hormigones premezclados, deben ser cuidadosamente observados por los proveedores y poner mucho énfasis a las investigaciones realizadas a los materiales para que de esta forma lleguen satisfactoriamente al consumidor.
- Es importante para la comercialización de los agregados, que por parte de las canteras o minas ponga a disposición de sus clientes o consumidores documentación actualizada y pormenorizada sobre ensayos físicos y mecánicos de los agregados que disponen; para de esta manera saber el tipo de producto que se utilizara en la construcción de los hormigones.
- La masa del hormigón, la resistencia y por tanto El Módulo de Elasticidad pueden cambiar en sus características dependiendo de la calidad del cemento y además por su lugar de distribución y fecha de elaboración, de ahí que es importante tomar muy en cuenta estos aspectos.

8.4.2 Recomendaciones sobre el Módulo Estático de Elasticidad del Hormigón.

- De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación, se recomienda utilizar la ecuación planteada para el cálculo del Módulo Estático de Elasticidad del Hormigón, cuando se utilicen agregados de la mina “San Ramón” y Cemento Chimborazo, para cualquier cálculo de Ingeniería Civil.
- Se recomienda que en el ensayo de carga – deformación, para la determinación del Módulo de Elasticidad del Hormigón, se tenga previamente valores de carga máxima que puedan estar soportando los cilindros, ya que con esto podremos determinar el número de lecturas de

carga y deformación, así como la velocidad de aplicación de la carga en la máquina universal.

- Seguir realizando estudios con un número mayor de muestras para contar con mayor información y resultados significativos sobre el módulo de elasticidad del hormigón en el Ecuador y sea una ayuda primordial para los diseñadores, constructores y consultores del país.
- El desarrollo de esta investigación nos permite tener conocimiento acerca del módulo estático de elasticidad del hormigón bajo condiciones de carga lenta, investigación que puede emplearse como base para futuras investigaciones acerca del módulo de elasticidad dinámico del Hormigón. (es decir bajo cargas rápidas, con el fin de conocer el comportamiento real del hormigón bajo la acción de un sismo.)

ANEXOS

RESUMEN FOTOGRÁFICO:

1. INSTALACIONES - AREA MINERA “SAN RAMON” (COTOPAXI)



2. TRANSPORTE DE LOS AGREGADOS.



Transporte de los Agregados desde la Mina de “San Ramón – Ciudad de Latacunga” hasta el Laboratorio de Ensayo de Materiales y Modelos (U.C.E.).

3. ENSAYO DE ABRASIÓN.



Colocación del material grueso en la Máquina de los Ángeles para el Ensayo de Abrasión.

4. ENSAYO DE COLORIMETRÍA.



Agregado Fino mezclado con Solución de Hidróxido de Sodio. “Grado 1”

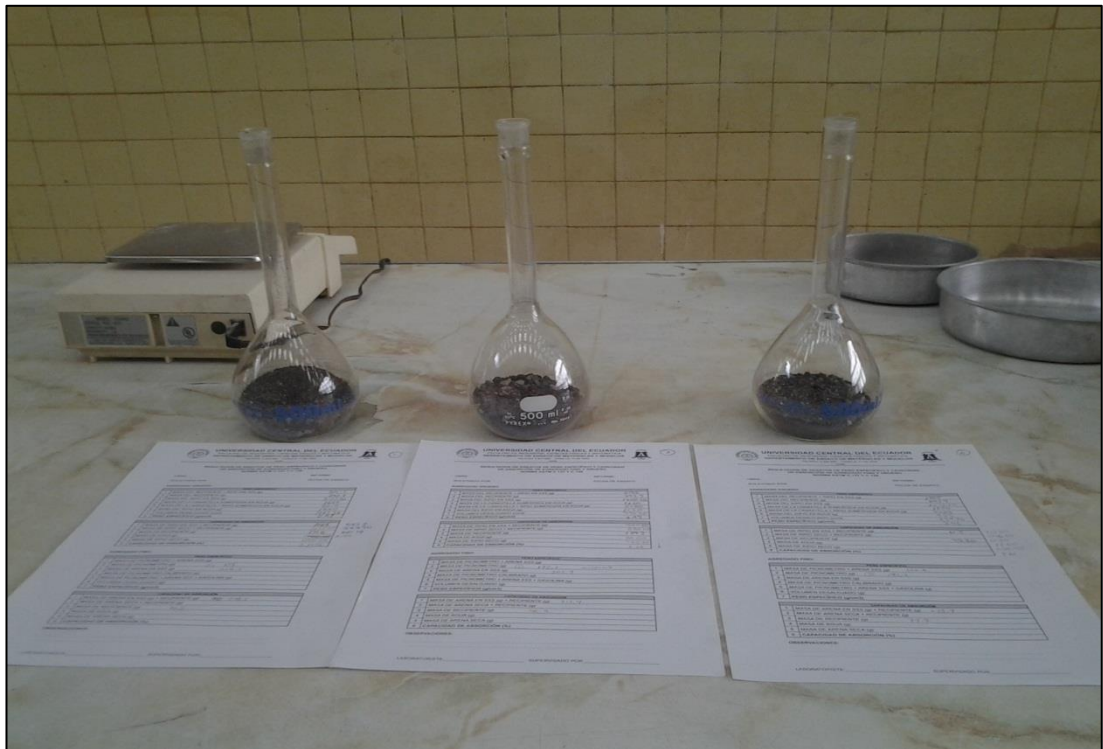
5. ENSAYO DE DENSIDAD EN ESTADO SATURADO CON SUPERFICIE SECA (S.S.S.)



Agregado Grueso en Agua para el Ensayo de Densidad en Estado Saturado con Superficie Seca (S.S.S.)



*Verificación de la Densidad en Estado Saturado con Superficie Seca (S.S.S.) del Agregado Fino en el
mediante el ensayo del modelo tronco cónico.*



Preparación del Agregado Fino para el Ensayo de Densidad en Estado Saturado con Superficie Seca (S.S.S.). mediante la utilización de Picnómetros

6. ENSAYO DE DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA.



Enrazamiento del Agregado Fino para el Ensayo de Densidad Aparente Suelta y Compactada.



Enrazamiento del Agregado Grueso para el Ensayo de Densidad Aparente Suelta y Compactada.

7. ENSAYO DE GRANULOMETRÍA.



Cuarteadora mecánica para el Ensayo de Granulometría del Agregado Grueso



Tamizado manual del Agregado Grueso para el Ensayo de Granulometría.



Tamices según la Serie de Abrams para el Ensayo de Granulometría del Agregado Fino.

8. ENSAYO DE DENSIDAD DEL CEMENTO.



Mezcla de Cemento más Gasolina para el Ensayo de Densidad del Cemento utilizando el frasco de Le Chatellier.

ENSAYO DE CONSISTENCIA NORMAL.



Aguja Vicat para el Ensayo de Consistencia Normal.



Preparación de las muestras para el Ensayo de Consistencia Normal.

9. MEZCLA DE PRUEBA Y DEFINITIVA.



Colocación de los Materiales en la Concretera para la elaboración de la Mezcla Definitiva.



Determinación del Asentamiento medido en el cono de Abrams para la mezcla definitiva.



Cilindros de Hormigón para la Mezcla Definitiva.

10. ENSAYO A COMPRESIÓN.



Preparación de las los cilindros de hormigón para la realización del ensayo de Compresión.



Ensayo a Compresión del cilindro de Hormigón hasta la Rotura.



Fractura del cilindro después de aplicada la carga de compresión.

11. ENSAYO DEL MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN.



Colocación del Compresómetro para el Ensayo del Módulo Estático de Elasticidad del Hormigón.



Ensayo de Compresión para la determinación del Módulo Estático de Elasticidad del Hormigón en la Maquina Universal de 100 Ton

BIBLIOGRAFÍA.

1. A.C.I., American Concrete Institute. Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural A.C.I. 318S-08. Impreso en U.S.A. Preparado por el Comité A.C.I. 318. Año 2008.
2. CAMANIERO, Raúl, Dosificación de Mezclas. Ecuador 2010: Pág.42 – 67.
3. Fabrica Cemento Chimborazo – Departamento de Control de Calidad
4. Geografía Básica del Ecuador tomo IV, Volumen 2 Centro de Investigación Geográfica-Pag.420
5. F. MARTÍN de la Escalera -Hormigón Armado - Sexta Edición: 1957: Pág. 18.
6. PÁEZ Alfredo, Hormigón Armado, Editorial Reverte S.A., Pág. 284
7. P. JIMÉNEZ Montoya Hormigón Armado Tomo1-: Quinta Edición: 1971: Pág.58 – 59.
8. MONTOYA – Meseguer Hormigón Armado”, 14º Edición.. Capítulo 5, numeral 5.6.
9. MONTOYA-Mesenguer-Moran. Hormigón Armado, Pág. 99
10. LLOPIZ, Carlos Ricardo, Hormigón Armado,, Pág. 25
11. GARZÓN Marco C. Manual “Investigación sobre el Módulo de Elasticidad del Hormigón”,. – 2010: Pág. 19.
12. ORÚS Félix Asso, Materiales de Construcción; Pág. 314
13. BELTRÁN, Orlando. Módulo de Elasticidad del Hormigón. Tesis 2005: Pág. 15 – 16
14. ASMAL, Daniel. Módulo de Elasticidad del Hormigón, Tesis 2012 – Pág. 186
15. CÓRDOVA, Carlos. Módulo de Elasticidad del Hormigón. Tesis 2010: Pág. 116 – 117.
16. GARZÓN, David. Módulo de Elasticidad del Hormigón. Tesis 2012 – Pág. 257
17. RAMIREZ, Rodrigo. Módulo de Elasticidad del Hormigón. Tesis 2011 – Pág. 337
18. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/245/1/T-UCE-0011-8.pdf>, pág. 163
19. <http://www.buenastareas.com/materias/definicion-de-concreto-endurecido/0>

20. http://www.construmatica.com/construpedia/Consistencia_del_Hormig%C3%B3n_Fresco
21. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/henaine_d_m/capitulo2.pdf
22. <http://es.wikipedia.org/wiki/Hormig%C3%B3n>
23. <http://publiespe.espe.edu.ec/librosvirtuales/hormigon/temas-de-hormigon-armado/hormigon01.pdf>
24. <http://publiespe.espe.edu.ec/librosvirtuales/hormigon/temas-de-hormigon-armado/hormigon01.pdf>
25. http://www.construmatica.com/construpedia/Hormig%C3%B3n_Endurecido
26. <http://www.lafarge.com.ec/Curado%20Del%20Hormigon.pdf>
27. <http://www.construaprende.com/tesis01/121-concreto/1212-caracteristicas-de-esfuer.html>